



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Medicina

Escuela Académico Profesional de Tecnología Médica

Valores de dosimetría efectiva y equivalente de tecnólogos médicos que laboran en el servicio de radiología. Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz”. Enero 2015 - diciembre 2015

TESIS

Para optar el Título Profesional de Licenciada en Tecnología Médica en el área de Radiología

AUTOR

Sheyla Lucila CHUCO ESPINOZA

ASESORES

Luis Frank BERNAL QUISPE

Enrique Junior ESPINOZA ESLI (Coasesor)

Lima, Perú

2016



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Chuco S. Valores de dosimetría efectiva y equivalente de tecnólogos médicos que laboran en el servicio de radiología. Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz”. Enero 2015 - diciembre 2015 [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Medicina, Escuela Académico Profesional de Tecnología Médica; 2016.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE TECNOLOGÍA MÉDICA

"Año de la Consolidación del Mar de Grau"



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

99
Conforme a lo estipulado en el Art. 45.2 y, Art. 100.13 de la Ley 30220. El Jurado de Sustentación de Tesis nombrado por el Director de la Escuela Académico Profesional de Tecnología Médica, conformado por los siguientes docentes:

Presidente: Lic. Evelina Alejandra Marcelo Carhuavilca

Miembros: Lic. Walter Robinson Roca Trejo

Lic. Luis Angel Giovanni Chumpitaz Francia

Se reunieron en la ciudad de Lima, el día jueves 22 de setiembre de 2016, procediendo a evaluar la Sustentación de Tesis, titulado "VALORES DE DOSIMETRIA EFECTIVA Y EQUIVALENTE DE TECNÓLOGOS MÉDICOS QUE LABORAN EN EL SERVICIO DE RADIOLOGIA. HOSPITAL NACIONAL PNP "LUIS N. SÁENZ". ENERO 2015 - DICIEMBRE 2015" para optar el Título Profesional de Licenciada en Tecnología Médica en el Área de Radiología de la interna:

→ EN PASTELERO Cd. Cd.
Sheyla Lucila Chuco Espinoza ✓

Habiendo obtenido el calificativo de:

16
(en números)

Dieciséis
(en letras)

Que corresponde a la mención de: Bueno

Quedando conforme con lo antes expuesto, se disponen a firmar la presente Acta.

.....
Presidente
Lic. Evelina Alejandra Marcelo Carhuavilca

.....
Miembro
Lic. Luis Angel Giovanni Chumpitaz Francia



.....
Miembro
Lic. Walter Robinson Roca Trejo

.....
Asesor (a) de Tesis
Lic. Luis Frank Bernal Quispe

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Lic. Luis Frank Bernal Quispe, por compartir sus conocimientos, su tiempo, dedicación y sus acertados consejos.

Al Lic. Enrique Espinoza Esli por las facilidades brindadas para la ejecución del presente estudio.

Al personal asistencial, técnico y administrativo del Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz por su apoyo invaluable e incondicional.

DEDICATORIA

A Dios por permitir avanzar con paciencia y sabiduría para llegar hasta aquí y
haberme dado salud para lograr mis objetivos.
A mi Madre y mi Padre, por ser los pilares más importantes y por demostrarme
siempre su cariño y apoyo incondicional.
A mi querida Hermana por su desinteresado cariño y apoyo moral.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	10
1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	10
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	12
1.4 OBJETIVOS	13
II. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 ANTECEDENTES	14
2.2 BASES CONCEPTUALES	16
2.2.1 RADIACIONES IONIZANTES.....	16
2.2.2 LA EXPOSICIÓN	19
2.2.3 INCERTIDUMBRE	20
2.2.4 DOSIS.....	20
2.2.5 DOSIMETRÍA	22
2.2.6 TIPO DE DETECTOR.....	22
2.2.7 DOSÍMETROS PERSONALES.....	27
2.2.8 RANGO DE DOSIS.....	33
2.2.9 EFECTOS BIOLÓGICOS	36
2.2.10 RADIOPROTECCIÓN.....	39
2.2.11 ACCIDENTES RADIOLÓGICOS	40
2.2.12 MÉTODOS DE MONITOREO OCUPACIONAL.....	41
2.2.13 INSTALACIÓN DEL EQUIPO	43
2.2.14 FUNCIÓN DEL OFICIAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	47
III. MATERIAL Y MÉTODOS	50
3.1 TIPO DE ESTUDIO.....	50
3.2 POBLACIÓN	50
3.3 ÁREA DE ESTUDIO	50
3.4 DISEÑO MUESTRAL.....	50
3.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN	51
3.5.1 CRITERIOS DE INCLUSIÓN	51
3.5.2 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	51
3.6 MATRIZ DE CONSISTENCIA	52

3.7 OPERACIONALIDAD DE VARIABLES	53
3.8 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN	54
3.9 PLAN DE PROCEDIMIENTOS	54
3.10 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS	54
3.11 CONSIDERACIONES ÉTICAS	55
IV. RESULTADOS.....	56
V. DISCUSIÓN	68
VI. CONCLUSIONES	70
VII. RECOMENDACIONES.....	71
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
IX. ANEXOS	76

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
TABLA 1 Valores de Dosimetría efectiva y equivalente	56
TABLA 2 Distribución según área de trabajo del Tecnólogo Médico	58
TABLA 3 Distribución según sexo del Tecnólogo Médico	59
TABLA 4 Valores de Dosimetría efectiva mensual y anual según área de trabajo	60
TABLA 5 Valores de Dosimetría equivalente en piel mensual y anual según área de trabajo	61
TABLA 6 Valores de Dosimetría equivalente en cristalino mensual y anual según área de trabajo	62
TABLA 7 Valores de Dosimetría efectiva mensual y anual según sexo	64
TABLA 8 Valores de Dosimetría equivalente en piel mensual y anual según sexo	65
TABLA 9 Valores de Dosimetría equivalente en cristalino mensual y anual según sexo	66

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
FIGURA 1 Valores de Dosimetría efectiva y equivalente	57
FIGURA 2 Distribución según área de trabajo del Tecnólogo Médico	58
FIGURA 3 Distribución según sexo de trabajo del Tecnólogo Médico	59
FIGURA 4 Valores de Dosimetría efectiva mensual y anual según área de trabajo.....	60
FIGURA 5 Valores de Dosimetría equivalente en piel mensual y anual según área de trabajo	61
FIGURA 6 valores de Dosimetría equivalente en cristalino mensual y anual según área de trabajo	63
FIGURA 7 valores de Dosimetría efectiva mensual y anual según sexo	64
FIGURA 8 valores de Dosimetría equivalente en piel mensual y anual según sexo.....	65
FIGURA 9 valores de Dosimetría equivalente en cristalino mensual y anual según sexo.....	66

RESUMEN

Objetivo: La presente investigación tiene como objetivo determinar los valores de dosimetría efectiva y equivalente en Tecnólogos Médicos que laboran en el servicio de Radiología. Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz Enero 2015- Diciembre 2015.

Materiales y métodos: La población está formada por 12 reportes dosimétricos donde se encuentra las dosimetrías efectivas y equivalentes de todos los trabajadores del área de Radiología, siendo 22 los Tecnólogos Médicos. El estudio es de tipo observacional, descriptivo, retrospectivo y transversal.

Resultados: Entre los principales resultados se obtiene que el 68,2% del total de Tecnólogos Médicos en radiología son de sexo masculino, el 65,2% del total de Tecnólogos Médicos laboran en Radiodiagnóstico, siendo la dosis media equivalente en cristalino $0,025 \text{ mSv} \pm 0,103 \text{ mSv}$, mientras que la dosis media equivalente en piel es $0,009 \text{ mSv} \pm 0,041 \text{ mSv}$ y la dosis media efectiva mensual es $0,064 \text{ mSv} \pm 0,118 \text{ mSv}$, la dosis media equivalente anual en cristalino es $0,187 \text{ mSv} \pm 0,730 \text{ mSv}$, mientras que la dosis media equivalente anual en piel es $0,034 \text{ mSv} \pm 0,160 \text{ mSv}$ y la dosis media efectiva anual es $0,461 \text{ mSv} \pm 0,858 \text{ mSv}$. Se encontró que la mayor media fue estadísticamente significativo $p < 0,05$ en dosis efectiva mensual y anual en el área de Tomografía con valores de $0,207 \text{ mSv}$ y $0,105 \text{ mSv}$ respectivamente, también se encontró que la mayor media estadísticamente significativo $p < 0,05$ fue en la dosis equivalente en piel mensual y anual en el área Tomografía con valores de $0,063 \text{ mSv}$ y $0,250 \text{ mSv}$ respectivamente, asimismo se aprecia que la mayor media estadísticamente significativo $p < 0,05$ se encontró en la dosis equivalente en cristalino mensual y anual en el área de Tomografía con valores de $0,160 \text{ mSv}$ y $1,127 \text{ mSv}$ respectivamente, además se encontró que la mayor media estadísticamente significativo $p < 0,05$ fue en la dosis efectiva mensual y anual en el área Tomografía con valores de $0,207 \text{ mSv}$ y $1,483 \text{ mSv}$ respectivamente. No se encontró diferencias significativas de la dosimetría mensual y anual en cristalino ni en piel, tampoco en la dosimetría efectiva mensual y anual según el sexo.

Conclusión: Los valores de dosimetría están por debajo del máximo valor permisible según IPEN. Los profesionales de Tecnología Médica del área de Tomografía presentan mayores valores de dosimetría equivalente mensual y anual en cristalino y piel, del mismo modo presenta mayores valores de dosimetría efectiva.

Palabras clave: Dosimetría, Radiología, Dosímetro, Radiación Ionizante, Tomografía Computarizada Multidetector, Medicina Nuclear, Protección Radiológica.

ABSTRACT

Objective: This research aims to determine the values of effective and equivalent dosimetry Medical Technologists working in the radiology department. PNP National Hospital "Luis N. Saenz January 2015- December 2015.

Materials and Methods: The population consists of 12 reports where effective dosimetry and equivalents all workers in the area of Radiology is , being 22 Medical Technologists . The study is observational, descriptive, retrospective and transversal.

Results: The main results are obtained 68.2 % of Medical Technologists in radiology are male , 65.2 % of Medical Technologists work in radiology , the average dose equivalent in crystalline $0,025 \text{ mSv} \pm 0.103 \text{ mSv}$, while the average dose equivalent skin is $0.009 \text{ mSv} \pm 0.041 \text{ mSv}$ and the mean dose monthly effective is $0.064 \text{ mSv} \pm 0.118 \text{ mSv}$, the average annual dose equivalent lens is $0.187 \text{ mSv} \pm 0.730 \text{ mSv}$, while the dose average annual equivalent of 0.034 mSv skin is $\pm 0.160 \text{ mSv}$ and the average annual effective dose is $0,461 \text{ mSv} \pm 0.858 \text{ mSv}$. It found that the highest average was statistically significant $p < 0.05$ in annual effective monthly dose and in the area of CT values of 0.207 mSv and 0.105 mSv respectively, also found that the highest mean statistically significant $p < 0.05$ was in the equivalent dose in monthly and annual skin in the scan area with values of 0.063 mSv and 0.250 mSv respectively, also we see that $p < 0.05$ statistically significant higher mean was found in the equivalent dose in monthly and annual lens in the also scan area with values of 0.160 mSv and 1.127 mSv respectively, it was found that the highest mean statistically significant $p < 0.05$ was in effective monthly dose and annually in the scan area and $0,207 \text{ mSv}$ and $1,483 \text{ mSv}$ values respectively. No significant difference in the monthly and annual dosimetry in crystalline or skin, found either on the effective monthly and annual dosimetry by sex.

Conclusions: The dosimetry values are below the maximum permissible value according to IPEN. Medical professionals Tomography Technology area have higher values dosimetry monthly and annual equivalent lens and skin, likewise has higher effective dosimetry.

Keywords: Dosimetry, Radiology, Dosimeter, Ionizing Radiation, Multidetector Computed Tomography, Nuclear Medicine, Radiation Protection.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El descubrimiento de los rayos X y, posteriormente, de los isótopos radiactivos permitió que comenzaran las investigaciones y aplicaciones de las técnicas nucleares en la Medicina, para el diagnóstico y el tratamiento de diversas afecciones. La Organización Mundial de la Salud ha definido la Medicina Nuclear como la especialidad que se ocupa del diagnóstico, el tratamiento e investigación médica mediante el uso de radioisótopos como fuentes abiertas.¹ El Radiodiagnóstico es una de las áreas médicas más importantes que aplica la radiación electromagnética que se propaga en forma de fotones de distintas energías que viajan a velocidad de la luz; utilizando la radiación más energética: los rayos x.² Del mismo modo la Tomografía Computarizada, brinda una imagen médica gracias a la utilización de la radiación de rayos x para obtener cortes o secciones anatómicas con fines diagnósticos.³

Según sea la dosis de radiación recibida se producirán efectos biológicos que pueden ser deterministas o no estocásticos a altas dosis y efectos probabilistas, estadísticos o estocásticos a bajas dosis. Estos efectos han sido determinados por diversas organizaciones científicas como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y el Comité Científico de las Naciones Unidas para el estudio de los Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes (UNSCEAR) .⁴

Existen principios fundamentales de protección radiológica, los cuales deben cumplirse para el correcto funcionamiento de una institución , siendo estos : justificación de las prácticas, por lo que una práctica que implica la exposición a la radiación sólo debe ser adoptado si produce suficientes beneficios a los individuos expuestos, teniendo en cuenta los beneficios y riesgos de otras técnicas alternativas disponibles que no impliquen exposición ionizante; el segundo principio es el de la limitación de la dosis, el cual menciona que las dosis a las personas son limitados (para profesionales y público), los rangos de estas dosis tienen valores diferenciados para profesionales en actividad permanente, estudiantes en formación y público en general. Se entiende también que esta limitación de dosis no es aplicable a la exposición médica (pacientes), debido a que el paciente puede necesitar varios estudios y el riesgo beneficio que recibe es compensatorio. Por último, el tercer principio, el cual es la optimización de la protección, por lo cual se

debe proporcionar la mejor protección disponible y las medidas de seguridad pertinentes, de modo que la probabilidad, magnitudes de las exposiciones y el número de personas expuestas sean tan bajas como sea razonablemente posible, adaptándose a factores económicos y sociales.⁵

Dado que las Radiaciones Ionizantes tienen infinidad de usos benéficos para la sociedad pero consciente al mismo tiempo de que es un factor de riesgo que es posible que afecte la salud del ser humano y que estos efectos son proclives de prevención .²

Es por esto que la dosimetría personal es imprescindible para el personal del área de la salud que por su labor están expuestas a las radiaciones directa e indirectamente, en las distintas áreas como Medicina Nuclear, Radiodiagnóstico y Tomografía Computarizada. Ella registra la dosis equivalente (piel y cristalino) y dosis efectiva recibidas de las personas expuestas a la radiación en condiciones laborales de forma individual, para que no se expongan a dosis de radiación no permitidas o pueda detectarse en caso que se sobrepase las normas de exposición definidas como seguras a las radiaciones.

En el servicio de radiología del Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz, los Tecnólogos Médicos no son ajenos a esta problemática. La importancia del tema no ha sido abordada a ciencia cierta en relación con el daño probable por la exposición a radiaciones ionizantes en los trabajadores ocupacionalmente expuestos. Estas exposiciones ocurren durante el Radiodiagnóstico, Tomografía Computarizada y el uso de radioisótopos en Medicina Nuclear. La Dosimetría personal, cuando muestra valores por encima de los límites internacionalmente aceptados, reflejaría condiciones inadecuadas de radioprotección en que desarrollan sus tareas los trabajadores del área. Por tal motivo, resulta importante conocer los valores de la dosimetría de los profesionales en Tecnología Médica. De igual manera comprobar que se dé cumplimiento con la normativa del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cuáles son los valores de dosimetría efectiva y equivalente en Tecnólogos Médicos que laboran en el área de Radiología. Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz enero 2015- diciembre 2015?

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

a) JUSTIFICACIÓN

Debido a la acumulación de radiación en las células, estas pueden sufrir cambios en su estructura, y a largo plazo podrían derivar en una neoplasia; por tal motivo es fundamental saber cuánta radiación reciben los Tecnólogos Médicos en su área de trabajo. Esta investigación aportará conocimientos sobre la dosimetría de las radiaciones ionizantes.

El presente estudio va a permitir determinar cuáles son valores de Dosimetría efectiva y equivalente en los Tecnólogos Médicos que laboran en el área de Radiología, ya que las exposiciones médicas involucran predominantemente a las personas que se someten a exámenes diagnósticos, a procedimientos intervencionistas o a terapia con radiación, pero también al personal y otros individuos que ayudan a asistir y confortar a los pacientes.⁶

Los resultados de este estudio servirán como fuente de información para futuras investigaciones; mientras que sus conclusiones podrán contribuir a generar información científica al Tecnólogo Médico para que utilice medidas preventivas acerca las radiaciones ionizantes a las que están expuestos.

b) IMPORTANCIA

La presente investigación tiene importancia en el conocimiento de la cuantificación de la radiación que recibe el Tecnólogo Médico en el servicio de Radiología tanto en el área de Radiodiagnóstico, Tomografía Computarizada y Medicina Nuclear. En los dos primeros servicios el equipo de rayos x es el que emite la radiación, mientras que en el tercer servicio el radiofármaco que se le inyecta al paciente, la elución del radiofármaco, los materiales de desecho, la inyección al paciente y calibración de los equipos son la que emiten la radiación; y, en consecuencia el personal debe tener

medidas de protección radiológica que ayuden a disminuir la radiación como el tiempo, la distancia y el blindaje.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los valores de dosimetría efectiva y equivalente en Tecnólogos Médicos que laboran en el servicio de Radiología. Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz Enero 2015- Diciembre 2015.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la distribución del Tecnólogo Médico que labora en el servicio de Radiología según área de trabajo.
- Determinar la distribución del Tecnólogo Médico que labora en el servicio de Radiología según sexo.
- Determinar los valores de dosimetría efectiva mensual y anual según área de trabajo.
- Determinar de los valores de dosimetría equivalente mensual y anual en piel según área de trabajo.
- Determinar los valores de dosimetría equivalente mensual y anual en cristalino según área de trabajo.
- Determinar los valores de dosimetría efectiva mensual y anual según sexo.
- Determinar los valores de dosimetría equivalente mensual y anual en piel según sexo.
- Determinar los valores de dosimetría equivalente mensual y anual en cristalino según sexo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

De los estudios revisados, los que tienen cierta relación con la presente investigación están.

Munar et al (2011). La presente investigación tuvo como objetivo evaluar, si con el hemograma y TSH se está realizando un adecuado seguimiento médico al grupo ocupacionalmente expuesto. En este estudio se investigó si existe una correlación entre los valores de la dosimetría con respecto a los laboratorios. Fue un estudio descriptivo, retrospectivo y longitudinal con una población de 28 trabajadores, la cual labora en el departamento de Radiología de una IPS de Colombia, con 8 horas de exposición diaria por 5 días a la semana, a las cuales se les realizó un seguimiento dosimétrico, exámenes de laboratorio. Tuvo como conclusión que el 100% de dosimetrías personales estuvo por debajo de los límites permisibles, dentro de los exámenes de laboratorio se encontró leucocitos anormales 2009 de 17.86%, leucocitos anormales 2010 de 14.29%; Eritrocitos anormales 2009 de 21%, eritrocitos anormales 2010 de 11% y TSH anormal 2009 de 36%, TSH anormal 2010 de 11%.⁷

Tomasina et al (2010). El programa de vigilancia de exposición a radiaciones ionizantes en el ambiente laboral involucra las dosimetrías personales de los trabajadores y su evaluación comparativa con los valores de referencia, lo que permite priorizar, y por lo tanto, tomar acciones de prevención eficaces. Tuvo como objetivo presentar los resultados del programa de vigilancia en salud ocupacional de los trabajadores universitarios expuestos a radiaciones ionizantes durante el periodo 2003-2006. El método utilizado fue descriptivo, retrospectivo y longitudinal. La valoración de la exposición se realizó mediante dosimetría de film. Se analizaron los registros de los valores dosimétricos personales en el marco del programa de vigilancia, de los años 2003, 2004, 2005 y 2006. Los resultados obtenidos fueron que los valores dosimétricos no superaron los valores de referencia admitidos como máximos anuales. La dosis anual máxima recibida fue de 15,72 milisieverts, correspondiente a las áreas de diagnóstico y tratamiento especializado del Hospital Universitario. Finalmente tuvo como conclusiones que la vigilancia de la exposición ha permitido orientar el control Médico periódico específico así como extremar

acciones de radioprotección. En este sentido, el departamento de Salud Ocupacional está realizando tareas de educación y difusión del programa para reforzar las medidas de prevención. ⁸

Caspe (2005). Analizaron los valores de dosis del año 2005 de los usuarios del Servicio de Dosimetría Personal de RX Asesores correspondientes a las áreas de Radiología y Medicina Nuclear de todo el país. Los casos analizados fueron 3023, de este total, 2511 son trabajadores del área de Radiología, mientras que 512 son profesionales y técnicos que se desempeñan en Medicina Nuclear. Tuvo como conclusión de un total de 2511 usuarios del área de Radiología sólo 135 usuarios, es decir, el 5,4% tuvo dosis anuales superiores a los 6 mSv. La dosis anual promedio de estos 135 usuarios fue de 12,2 mSv, con una desviación estándar de 6,6 mSv. Por otro lado, 16 casos superaron el valor de 20 mSv anuales, el cual es el límite de dosis efectiva recomendada en un año, la dosis anual máxima registrada fue de 40,2 mSv. En el caso del área de Medicina Nuclear sobre un total de 512 usuarios sólo 23 usuarios tuvieron dosis superiores a 6 mSv, lo que hace que sólo un 4,5% del total. La dosis anual promedio de estos 23 usuarios fue de 10,5 mSv, con una desviación estándar de 3,9 mSv. En este caso, solo un trabajador recibió una dosis superior a los 20 mSv, el valor de dosis máxima registrado fue 20,6 mSv.⁹

Días et al (2005). Realizó un estudio descriptivo, de corte transversal, en 18 trabajadores de ambos sexos, que constituyeron la población estudio, con edades entre 32 y 59 años, con un año mínimo de exposición en una empresa especializada en el negocio petrolero venezolano. El grupo control seleccionado al azar simple, no estuvo expuesto a radiación ionizante. Se practicó una historia médico ocupacional, análisis cromosómico utilizando dos técnicas de cultivo cromosómico, dosimetría personal y monitoreo ambiental al grupo expuesto a radiación ionizante. Los resultados mostraron una edad promedio de $46,10 \pm 7,69$ años en el grupo expuesto, con antigüedad en el puesto de trabajo de $17,5 \pm 5,0$ años y tiempo de exposición semanal de $4,30 \pm 1,33$ horas. Se evidenciaron 444 alteraciones cromosómicas en 700 metafases estudiadas en la población expuesta, representadas por fragilidades simples 66,6%, y fragilidades combinadas, con rupturas cromosómicas, deleciones y poliploidías en 22,2%, el 11,1% presentó cariotipo normal. El grupo control presentó alteraciones cromosómicas tipo

fragilidades simples en el 55,5%. En los radiólogos se observó el 88,8% de alteraciones cromosómicas, con dosis detectada por debajo de lo permisible, y el 11,2% de ellos, con dosis excedidas, presentó el mayor número de fragilidades y rupturas cromosómicas múltiples. Los radiólogos con exposición semanal de 8 horas mostraron el mayor número de rupturas cromosómicas. Ochenta y ocho por ciento de los radiólogos con alteraciones cromosómicas tenían antigüedad mayor de 10 años de exposición. En conclusión, la exposición crónica a bajas dosis de radiación ionizante puede inducir alteraciones cromosómicas, dependiendo de la antigüedad en la ocupación y la exposición semanal¹⁰.

Sont.et al (1990). Primer análisis de la incidencia de cáncer y la exposición a la radiación ocupacional basado en el Registro Nacional de dosis de Canadá, fue un estudio de cohortes en donde se buscó registros que contengan dosis de información de 1951 a 1988, 191.333 personas fueron extraídas del Registro Nacional de la dosis de Canadá. Tuvo como conclusión que la dosis media de toda la cohorte es 6,64 mSv, con los hombres de recibir una dosis mucho más alta que la media de las mujeres (11,50 frente a 1,75 mSv). Además se identificó elevadas tasas de incidencia de cáncer de tiroides y melanoma, y, positivo el exceso de riesgo relativo de recto, pulmón, la leucemia, todos los cánceres Combinado, todos, excepto de pulmón, y todos, excepto la leucemia. Finalmente, el estudio recomienda disminuir el tiempo de exposición a las radiaciones ionizantes, focalizar las medidas preventivas y de promoción de la salud. ¹¹

2.2 BASES CONCEPTUALES

2.2.1 RADIACIONES IONIZANTES

Estas radiaciones con una energía suficiente provocan la expulsión de electrones de la órbita atómica (fenómeno de la ionización).

2.2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Según su tipo de onda se clasifican en:¹²

1. Ondulatorias o electromagnéticas: Rayos x y gamma

2. Corpusculares: Partículas alfa, beta y neutrones

2.2.1.1.1 RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS

A. Los Rayos X

Al igual que las ondas de radio, las ondas de microondas, los rayos infrarrojos, la luz visible, la luz ultravioleta y los rayos gamma, son radiaciones de naturaleza electromagnética en dependencia de los efectos que provocan sobre las moléculas, se clasifican como radiaciones ionizantes, debido que al interactuar con la materia producen ionización de los átomos de la misma, es decir, origina partículas con carga con una alta reactividad. Es una radiación que no es más visible, sin embargo pueden atravesar cuerpos opacos e imprimir películas fotográficas. Dichas ondas tiene una longitud de onda entre 0,1-10 nanómetros (nm), correspondiendo a frecuencias en el rango de 30 a 3 000 pico Hertz (de 50 a 5 000 veces la frecuencia de la luz visible). Los efectos ionizantes de los rayos x se producen proporcionalmente a la cantidad de radiación absorbida (energía) y la radiosensibilidad de las células que lo absorben. La radiación transfiere energía a las moléculas de las células que conforman los tejidos. Como resultado de esta interacción, las funciones de las células pueden deteriorarse de forma temporal o permanente y ocasionar incluso la muerte. La gravedad de la lesión depende del tipo de radiación, la dosis absorbida, la velocidad de absorción y la sensibilidad del tejido frente a la radiación .¹³

B. La Radiación Gamma:

Una parte importante de esta radiación se produce en la reacciones de fisión, otra parte procede de la interacción de neutrones con átomos. La radiación gamma instantánea es la originada por fisión y por interacción de los neutrones con los núcleos atómicos teniendo lugar en el primer microsegundo de la explosión hasta, 10^{-6} segundos. La radiación gamma retardada que recibe un objetivo está casi únicamente constituida por radiación gamma. La radiación gamma es atenuada o absorbida a su paso por distintos materiales, dependiendo de su volumen y densidad. Si un haz de radiación gamma, después de atravesar un espesor de un determinado material, se reduce a su décima parte, se puede decir que este espesor es un décimo del material en cuestión. En el vacío esta radiación se desplaza a la

velocidad de la luz, en línea recta; en la atmosfera, hay difusión debido a la interacción con el oxígeno y nitrógeno del aire, por lo que la radiación gamma puede alcanzar cualquier objetivo aunque este desenfocado, lo que es un factor importante a tener en cuenta cuando se habla de protección .¹⁴

2.2.1.1.2. RADIACIONES CORPUSCULARES

A. Radiación Alfa

Es una radiación constituida por dos protones y dos neutrones estrechamente unidos, por lo que es idéntica a un núcleo de helio, su radiactividad tipo alfa ocurre cuando elementos muy pesados, como el uranio, el torio y el radio pierden la mayoría de su energía cinética y se convierten en un átomo de Helio .¹⁵

B. Radiación Beta

Es una radiación que está constituida por electrones del núcleo proveniente de la descomposición de un neutrón de sustancias radiactivas y que viaja a velocidades próximas a la luz. Este tipo de radiación tiene lugar en isótopos ricos en neutrones y suelen ser elementos producidos en reacciones nucleares naturales, y en las plantas de energía nuclear.¹⁵

C. Neutrones

Son partículas procedentes del espacio exterior, producto de las colisiones entre átomos en la propia atmósfera o más frecuentemente de desintegraciones radioactivas espontáneas o artificiales dentro de reactores nucleares.¹⁵

2.2.2 LA EXPOSICIÓN

La exposición es una magnitud dosimétrica para la radiación electromagnética ionizante, basada en su capacidad para producir ionización en aire. Esta magnitud

solo se define para la radiación electromagnética en su interacción con el aire. Antes de interaccionar con el paciente (el haz directo) o con el personal (radiación dispersa), los rayos X interaccionan con el aire.¹⁶

La magnitud “exposición” da una indicación de la capacidad de los rayos X para producir un cierto efecto en aire. El efecto en tejido será, en general, proporcional a este efecto en aire.¹⁶

Es el valor absoluto de la carga total de los iones de un solo signo producidos en aire cuando todos los electrones liberados por los fotones por unidad de masa de aire son completamente parados en aire.¹⁶

$$X = dQ/dm$$

La unidad de exposición en el SI es el culombio por kilogramo [C kg⁻¹]

2.2.2.1 LA TASA DE EXPOSICIÓN

Es la exposición producida por unidad de tiempo. La unidad del SI de tasa de exposición es el [C/kg] por segundo o (en unidades antiguas) el [R/s]. En Protección Radiológica es usual indicar estos valores de tasa “por hora” R/h.¹⁶

2.2.2.2 RELACIÓN ENTRE DOSIS ABSORBIDA Y EXPOSICIÓN

Es posible calcular la dosis absorbida en un material si se conoce la exposición

$$D [\text{Gy}] = f \text{ por } X [\text{C kg}^{-1}]$$

f = coeficiente de conversión, dependiente del medio.¹⁶

El KERMA (kinetic energy released in a material)

$$K = dE_{\text{trans}} / dm$$

Donde dE_{trans} es la suma de las energías cinéticas iniciales de todas las partículas cargadas ionizantes liberadas por partículas ionizantes sin carga en un material de masa dm. La unidad del SI de Kerma es el julio por kilogramo (J/kg), llamado gray (Gy).¹⁶

En radiodiagnóstico, Kerma y D son iguales

2.2.3 INCERTIDUMBRE

Imprecisión en la determinación de las dosis, asociada a los parámetros de influencia .¹⁷

La radiación recibida se puede medir.

2.2.4 DOSIS

Medida de la radiación que recibe o absorbe un medio y que se utiliza indistintamente para expresar dosis absorbida, dosis en órganos, dosis equivalente, dosis efectiva, dosis comprometida o dosis efectiva comprometida, cuando no es necesario indicar los términos modificantes para definir la cantidad de interés. ¹⁸

2.2.4.1 DOSIS ABSORBIDA

La dosis absorbida es una magnitud que expresa la cantidad de energía absorbida por unidad de masa de un material. Es una magnitud genérica, definida para cualquier tipo de radiación o material, que se utiliza en radiobiología debido a que es una excelente magnitud para estimar el daño producido por la radiación en un órgano que ha sido irradiado por un tipo específico de radiación. En el SI, su unidad es el Gy, que es igual a J/kg. Un Gy equivale a 100 rad de las antiguas unidades. Si se desea convertir un valor de exposición (R) en dosis absorbida (Gy), deben utilizarse factores de conversión que dependen del material .¹⁹

Es definida por la expresión:

$$D = \frac{d\mathcal{E}}{dm}$$

En la que D es la dosis absorbida, $d\mathcal{E}$ es la energía media impartida por la radiación ionizante a la materia en un elemento de volumen y dm es la masa de materia existente en ese elemento de volumen .¹⁹

2.2.4.2 DOSIS EQUIVALENTE

Las investigaciones en Radiobiología demuestran que para un mismo valor de dosis absorbida, los daños biológicos son diferentes en función de la radiación incidente. Por ejemplo, las partículas alfa o los neutrones generan un daño biológico mayor que la radiación X o gamma (g) para una misma dosis absorbida.²⁰

La dosis equivalente H_T es la dosis absorbida promediada para un tejido u órgano (y no en un punto) y ponderada respecto de la cualidad de la radiación que interese. Es una magnitud utilizada en seguridad radiológica, de manera que su empleo no es adecuado para medir grandes dosis absorbidas suministradas en un período de tiempo relativamente corto.

Viene dada por:

$$H_{T,R} = W_R D_{T,R}$$

Donde $D_{T,R}$ es la dosis absorbida promediada para todo el tejido u órgano T debida a la radiación R y W_R es el factor de ponderación radiológica (Tabla IV).

La dosis equivalente tiene las unidades de $J\ kg^{-1}$. El nombre especial de la unidad de dosis equivalente es el Sievert (Sv).²⁰

EQUIVALENTE DE DOSIS INDIVIDUAL, $H_p(D)$

Es la dosis equivalente en tejido blando, a una profundidad apropiada d, a partir de un punto especificado sobre el cuerpo humano y está medido en sieverts. El $H_p(0,07)$, equivalente de dosis en piel, es la dosis equivalente a 0,07 mm de profundidad en el cuerpo desde el punto de aplicación del dosímetro personal. El $H_p(10)$, equivalente de dosis en profundidad, es la dosis equivalente a 10 mm de profundidad en el cuerpo desde el punto de aplicación del dosímetro personal.¹⁷

2.2.4.3 DOSIS EFECTIVA

La probabilidad de aparición de efectos estocásticos en un determinado órgano o tejido depende no solo de la dosis equivalente recibida por dicho órgano o tejido, sino también de la radiosensibilidad del órgano irradiado. Por esto, y a partir de la irradiación que recibiría una persona en todo su cuerpo, se ha adjudicado un factor de peso (W_T) a cada órgano (International Commission on Radiological Protection, 2007). Cada uno de los coeficientes representa un porcentaje de la irradiación en el cuerpo entero (100%), y su suma total es igual a 1. De esta forma, la dosis efectiva permite diferenciar dos estudios realizados con iguales parámetros radiológicos, pero que en diferentes partes del cuerpo tendrán valores diferentes por irradiar órganos distintos.¹⁹

La suma de las dosis equivalentes en tejido, multiplicada cada una por el factor de ponderación apropiado para el tejido correspondiente:

$$E = \sum W_T H_T$$

Donde H_T es la dosis equivalente en el tejido T y W_T es el factor de ponderación para el tejido T (Tabla III).¹⁹

La dosis se detecta mediante detectores de radiación.

2.2.5 DOSIMETRÍA

Se llama así al conjunto de medidas que se realizan para estimar las dosis, bien de los trabajadores profesionalmente expuestos de una instalación, o bien de las áreas de trabajo y su entorno. Surge así, la dosimetría personal y la ambiental o de área respectivamente ²¹.

2.2.6 TIPO DE DETECTOR

1. Detectores Gaseosos: La Cámara de ionización, el Contador Proporcional y el Detector Geiger-Müller
2. De Estado Sólido: Semiconductor
3. Detectores de Centelleo

2.2.6.1 DETECTORES GASEOSOS

La Cámara de Ionización, el Contador Proporcional y el detector Geiger-Müller se basan en la recolección directa de la ionización producida por una partícula al atravesar un gas encerrado entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial.

2.2.6.1.1 CÁMARA DE IONIZACIÓN

Es una cámara rellena de gas a presión adecuada con dos electrodos positivos y negativos aislados entre sí, colocados en lados opuestos de la cámara, los cuales se encuentran conectados a una fuente de alta tensión y un aparato de medición de

corriente o tensión. Cuando la radiación ionizante atraviesa el gas, produce pares iónicos el comportamiento de estos depende de la naturaleza y la presión del gas de llenado y del voltaje aplicado. De acuerdo con este último, los iones producidos pueden chocar entre si y recombinarse, o pueden alcanzar los electrodos respectivos: los iones negativos se dirigen al ánodo y los iones positivos al cátodo. Cuando los pares iónicos son recogidos por los electrodos se origina una corriente en el aparato de medición. Esta corriente se convierte en señales digitales en el detector mediante un circuito electrónico asociado. Así permiten la medición de la actividad de la muestra directamente en μCi , mCi o MBq . La corriente producida en una cámara de ionización depende del tipo, la energía y la abundancia relativa de la radiación, por eso se necesitan ajustes adecuados a la amplificación de la señal de voltajes, ya que el registro para los distintos radionúclidos será siempre en unidades de actividad. El concepto mismo de la cámara de ionización es muy versátil, lo que permite diseñar dispositivos especializados para aplicaciones específicas. El problema de detectar la radiación alfa o beta es muy distinto al de detectar la radiación gamma, debido a sus diferencias tanto en su potencia para penetrar los distintos materiales como en su probabilidad de interacción con la materia.²²

El Activímetro: Los calibradores de actividad o activímetros son instrumentos que proporcionan de forma rápida la actividad absoluta o dosis de un radiofármaco para el diagnóstico y la terapia metabólica. Está constituido por un detector gaseoso, generalmente una cámara de ionización, cuyo diseño es apropiado para que dentro de él se introduzca el material radioactivo para su medición.²²

Cámara de Ionización Básica: La diferencia de voltaje de la cámara de ionización básica se calibra lo básico para que sea lo bastante alta para recolectar todos los iones del volumen sensible de la cámara, pero no tanto como que para que los iones de la cámara se aceleren hasta el punto de crear ionizaciones secundarias adicionales. Como resultado de esta estrategia de calibración de voltaje, la corriente producida en cualquier suceso individual es muy pequeña y no puede medirse con precisión. En su lugar la Cámara de Ionización se emplea para medir la corriente total generada por múltiples sucesos a lo largo de un determinado periodo de integración en un ámbito concreto de detección de la radiación. Varios dispositivos

utilizados de forma habitual en las Clínicas de Medicina Nuclear funcionan según el principio de la cámara de ionización. Los medidores de inspección de radioactividad como el de tipo de cutie pie, algunos dosímetros de bolsillo y los calibradores de dosis de radionúclidos son algunos ejemplos de Cámara de Ionización Básica.²²

2.2.6.1.2 CONTADOR PROPORCIONAL

La diferencia principal entre un contador proporcional y una cámara de ionización básica es el mayor voltaje aplicado entre los electrodos en el primero de los aparatos. El mayor voltaje produce ionizaciones secundarias en el volumen sensible de la cámara. El término de amplificación gaseosa describe este fenómeno. La ionización gaseosa puede aumentar la ionización en un factor de 10^3 a 10^6 . El pulso de corriente resultante es lo bastante grande como para medirse de forma individual y es proporcional a la energía depositada inicialmente en la cámara gaseosa. Por lo general se emplea un gas inerte como el Helio o el Argón. El nombre del aparato se basa en la proporcionalidad de la ionización total respecto a la energía total de la radiación ionizante. Las cámaras proporcionales no tienen una aplicabilidad generalizada en la Medicina Nuclear clínica. Se emplea en las investigaciones para detectar partículas alfa y beta.²²

2.2.6.1.3 GEIGER MULLER

Para la detección instantánea de la radiación se emplean dispositivos electrónicos. El más antiguo y simple es el contador Geiger Müller (Tubo Geiger) que no es más que un tubo metálico de descarga con un alambre que pasa a través de su centro. El hilo central se mantiene a un gran potencial positivo (alrededor de más de 500V) con respecto a la pared del tubo, y el tubo contiene un gas a baja presión (alrededor de 0.1 atm). Cuando una sola partícula cargada atraviesa el gas del tubo, ioniza a uno o más átomos del gas, que dejan en libertad varios electrones. Estos electrones son después acelerados hacia el hilo, pero antes de llegar a él, ionizan otros átomos en su camino, y, en consecuencia ponen en libertad a más electrones. Estos electrones adicionales ionizan a su vez más átomos todavía cuando son acelerados hacia el hilo. Se desarrolla una reacción en cadena (o avalancha) que ioniza rápidamente a la mayor parte del gas del tubo. Como consecuencia, el gas se hace eléctricamente conductor y hay una momentánea oleada de corriente en el tubo. Este impulso de corriente llega hasta un amplificador y a la salida de este hace

funcionar un contador que registra la descarga producida cada vez que pasa por el tubo una partícula cargada. Los Tubos Geiger no detectan directamente ni fotones ni neutrones. Sin embargo, si se rodea el tubo con un material apropiado parte de los rayos gamma y neutrones incidentes, lanzaran fuera de los átomos del material a los electrones y fotones con los que chocan, pudiéndose detectar entonces estas partículas cargadas. Por supuesto que solo una porción de los fotones y neutrones incidentes se detectan así, dado que solo una reacción de la partículas incidentes interacciona con el material que rodea el tubo.²³

Los Tubos Geiger son relativamente baratos y fáciles de hacer funcionar, sus principales desventajas son su incapacidad para medir la energía de la partícula incidente y su tiempo muerto bastante largo (se entiende como tiempo muerto, el tiempo transcurrido entre el paso de una partícula cargada por un detector, y el momento en que este es capaz de detectar una segunda partícula). En un tubo Geiger se trata de un tiempo necesario para que todos los iones y electrones producidas por las primera partícula se recombinen en átomos neutros, de modo que el tubo vuelva a su estado de reposo. El tiempo muerto del tubo Geiger es del orden de milisegundos, lo que viene a significar que el tubo tiene sus límites en unos cuantos de cientos de cuentas por segundo. Si las partículas inciden sobre un tubo Geiger en una mayor proporción, no podrá contarlas todas, puesto que muchas de ellas llegaran durante un periodo muerto.²⁴

2.2.6.2. DETECTORES DE ESTADO SOLIDO

Es uno de los detectores de radiación gamma más usados. Su principio es muy simple, el semiconductor actúa como un aislante no permite que fluya la corriente hasta que la ionización se lleve a cabo en todo su volumen, y en general se mantiene a baja temperatura para minimizar la corriente producida por la activación térmica de los electrones. Cuando un rayo gamma se absorbe por un gran número de pares iónicos, hace que la resolución de este detector sea mucho mayor que la del tubo fotomultiplicador.²⁵

2.2.6.2.1 DETECTORES SEMICONDUCTORES

El principio de funcionamiento de los detectores semiconductores puede asemejarse al de la cámara de ionización, donde el medio ionizable, en vez de un

gas, consiste en un semiconductor de alta resistividad. La alta resistividad se alcanza mediante la formación de zonas del material exentas de portadores libres, que se logran mediante diversos métodos que son característicos de los diversos semiconductores.²⁶

Existen diversos tipos de detectores de semiconductor: Intrínsecos como los de *CdS*, *CdSe* ó *Ge* hiperpuro y extrínsecos como los de *Ge* ó *Si*. Estos últimos pueden ser de tipo compensado, es decir conteniendo impurezas donadoras y receptoras en el mismo cristal y en la misma proporción, al menos en una zona, comportándose entonces dicha zona como un semiconductor intrínseco. También pueden ser del tipo diodo de unión *p-n*. Estos últimos son similares a los dosímetros de diodo, pero con un mayor volumen de zona activa y con polarización negativa elevada para incrementar la zona activa o de empobrecimiento y mejorar la eficiencia.²⁶

La sensibilidad de estos dispositivos de estado sólido es 10⁴ veces la de los detectores de gas. Esto es debido a la menor energía requerida para producir un par de iones, un orden menor, y la mayor densidad del material, que es superior en tres órdenes de magnitud. En realidad los sistemas de detección y monitores de semiconductor no son habituales en el ámbito hospitalario, aunque se pueden utilizar como detectores de contaminación. La principal aplicación de estos detectores es la espectrometría en los laboratorios de Física Nuclear.²⁶

2.2.6.3. DETECTORES DE CENTELLEO

El principio de funcionamiento de los Detectores de Centelleo se basa en una propiedad denominada luminiscencia o emisión de luz visible. Esta propiedad se da cuando estas sustancias son expuestas a radiación ionizante. La excitación molecular producida da origen a una desexcitación rápida conocida como fluorescencia o centelleo. Disponiendo de un elemento transductor tal como una célula fotoeléctrica, suficientemente sensible cada una de estas emisiones de luz visible o destellos correspondiente a una sola partícula o fotón puede ser detectado y transformando en una señal eléctrica. El detector de Centelleo es frecuentemente usado en Medicina Nuclear. Como el detector de yoduro de sodio activado con talio (*NaI: Tl*) es muy sensible y debe ser protegido de la radiación ambiental o radiación de fondo, por lo que está cubierto por una armadura de plomo de 5cm o mas de espesor por todos lados, excepto por una abertura que es la colimadora por donde

recolecta la información. La intensidad de centelleo producida en el cristal es proporcional a la energía de la radiación gamma detectada. Los electrones emitidos en el fotocátodo del PMT producen un pulso eléctrico a la salida, que es amplificado y medido en un analizador de altura de pulsos (PHA) donde se determina la energía del rayo gamma que lo causó. El Analizador de Altura de Pulsos consta de dos discriminadores, uno para los pulsos más altos que cierto límite, y otros para aquellos más pequeños que una cierta medida dada. La diferencia de energía entre el límite superior e inferior es la llamada enana del analizador. Todos los pulsos en la ventana son pasados a un contador. Algunas veces resulta de interés conocer la distribución de la altura de pulsos, lo cual puede hacerse con un analizador multicanal (MCA), el cual separa los pulsos de acuerdo con su altura 256 o 512 grupos. Los centelladores son materiales en los que la producción de ondas electromagnéticas tiene lugar en la región visible y el ultravioleta .²⁵

2.2.7 DOSÍMETROS PERSONALES

1. Dosímetros de película
2. Dosímetros de termoluminiscencia²⁶
3. Sistema de luminiscencia estimulados ópticamente

2.2.7.1 DOSÍMETROS DE PELÍCULA FOTOGRÁFICA

Consta tiene una película fotográfica sensible a radiación electromagnética de alta energía. Su proceso es el revelado.

- Trozo de película similar a la empleada en radiografía dental, colocado entre dos filtros metálicos (Al o Cu) dentro de una carcasa de plástico.
- La película utilizada es especialmente sensible a las radiaciones ionizantes.
- La densidad de la película expuesta y revelada es proporcional a la cantidad de radiación recibida.
- La calibración, el revelado y el análisis de la película se han de realizar con gran cuidado.

- No detectan dosis de radiación inferiores a 10 mR: si se reciben dosis superiores a ésta, pueden informarse con exactitud.
- Los filtros de la parte frontal del dispositivo son distintos a los de la parte posterior, por esta razón, deben colocarse correctamente, con la parte frontal hacia delante.
- Son baratos, fáciles de manejar, fáciles de revelar, razonablemente precisos y llevan usándose varias décadas.
- Nunca deben dejarse dentro de un coche o en otro lugar donde se puedan producir temperaturas elevadas.
- No deben llevarse durante más de un mes seguido, ya que les afectaría el velo producido por la humedad y la temperatura.
- Su sensibilidad es menor que la de otros métodos para controlar la radiación.

27

2.2.7.2 DOSÍMETRO DE TERMOLUMINISCENCIA

Los fenómenos termoluminiscentes fueron observados desde años atrás. La emisión de luz por efecto de estimulación térmica, o termoluminiscencia, fue observada por Robert Boyle en 1663; pero no fue hasta 1883, en que Becquerel descubrió el fenómeno de la termoluminiscencia, siendo posteriormente estudiada por muchos científicos. Los materiales termoluminiscentes se caracterizan por ceder en forma de energía luminosa, parte de la energía que absorben cuando son irradiados por radiación ionizante.²¹

Esta producción de luz se producirá al calentarlos, con posterioridad a la irradiación. La intensidad de luz emitida está directamente relacionada con la dosis de radiación recibida por el material, por lo que dichos materiales son usados como dosímetros. Existen diferentes tipos de material termoluminiscente, todos constan en esencia de un material base dopado con impurezas de ciertos átomos. Los más usados son los de fluoruro de litio dopado con magnesio y titanio, y los de sulfato de calcio activado con disprosio. Estas impureza en el material base, dan lugar a la existencia de ciertos niveles energéticos, denominados pozos o trampas, en los cuales queda

atrapado los electrones liberados por el paso de la radiación. Cuando se calienta el material, estos electrones regresan a sus estados energéticos originales en la estructura cristalina, emitiendo luz en el proceso.²¹

Las características que deben reunir los materiales termoluminiscentes para su aplicación en dosimetría son:

1. Mantener la retención de portadores capturados en tiempos suficientemente largos, a la temperatura existente en los puntos de medida.
2. Alta intensidad de emisión de luz termoluminiscente.
3. Respuesta lineal en un amplio intervalo de dosis.
4. Puesta a cero completa, para facilitar el uso repetitivo.
5. N° atómico (Z) efectivo análogo al tejido biológico.

En los dosímetros de este tipo se utilizan cristales de fluoruro de litio, sensibles a varios tipos de energías e intensidades. Un transductor fotosensible convierte la intensidad luminosa en una magnitud eléctrica, la integra y la presenta forma análoga, gráfica y/o digital en términos de dosis. OSL (Luminiscencia Estimulada Ópticamente), LUXEL, en los dosímetros de este tipo se utiliza una lámina de Al_2O_3 (óxido de aluminio), sensible a varios tipos de energías y rangos y cuya lectura se obtiene a partir de estimulación por emisiones de luz. El dosímetro está conformado por un paquete totalmente integrado, que viene precargado, incorporado a una lámina de Al_2O_3 colocada dentro de una unidad con tres filtros, con elementos de cobre, estaño y plástico, además de uno de imagen, sellado bajo calor, envuelto dentro de un papel negro a prueba de luz y laminado a una etiqueta de papel blanco. Todos estos componentes se encuentran sellados en una envoltura de plástico resistente al deterioro. Debido a su diseño, los problemas ocasionados por el mal manejo, daños por luz o pérdidas de elementos del detector son eliminados.²¹

Para realizar la lectura de un dosímetro de TLD, se somete a calentamiento en condiciones controladas. Mediante un sistema de filtros ópticos y un fotomultiplicador se mide la curva de emisión luminiscente, calculando la dosis absorbida a partir de la luz emitida o del área de alguno de los picos más

característicos. La puesta a cero de un dosímetro ya leído, se realiza mediante un postcalentamiento controlado, que libera completamente las trampas ocupadas remanentes. Se dispone de dos tipos de dosímetros:²¹

- Dosímetros de solapa: se usan para la estimación de las dosis equivalentes profunda y superficial, utilizándose ambos tipos de material termoluminiscente con filtros para corrección energética.
- Dosímetros de muñeca: se usan para la estimación de la dosis en extremidades. El material termoluminiscente utilizado es Fluoruro de Litio sin filtros, pues serían incómodos con filtros en un dosímetro de muñeca.¹²

Las principales ventajas de estos dosímetros TLD son:

- El umbral de medida puede ser inferior a 10 microGy con un límite superior que puede sobrepasar 10 Gy.
- La dependencia de las condiciones ambientales es muy inferior a los dosímetros de película.
- Un adecuado tratamiento térmico permite su re-uso en un número de veces fácilmente superior a cincuenta.
- Son fácilmente manipulables por lo que es factible su procesamiento automatizado en grandes cantidades.²¹

Desventajas:

- La variación a la respuesta en función de la energía, debido a que los cristales TLD contienen elementos de número atómico relativamente alto.²¹

2.2.7.3 OSL (Luminiscencia Estimulada Ópticamente)

Esta forado por una delgada lamina de Al_2O_3 dopado con c. en el proceso de lectura de óxido de aluminio se somete a la interacción con determinadas frecuencias de luz láser entre 500 y 550 nm produciendo luminiscencia en 420 nm proporcional al equivalente de dosis personal. Los dosímetros deben ser manipulados en la

ausencia de luz, puesto que la luz ambiente los borra y la ultravioleta los activa. Es distribuido en soportes que incorporan filtros, se sella térmicamente y pueden ser reutilizados muchas veces teniendo una vida entorno al año.²⁶

2.2.7.3.1 DOSÍMETRO INLIGHT

El Sistema Inlight, desarrollado por Landauer, es la tecnología más avanzada en detección de radiaciones X, gamma y beta para personas laboralmente expuestas que trabajan en diagnóstico por imágenes, Medicina Nuclear, Radioterapia, Plantas Nucleares, Industria, Investigación, etc. Los dosímetros Inlight utilizan tecnología OSL, luminiscencia ópticamente estimulada. Consta de cuatro capas de óxido de aluminio y cuatro filtros, ventana abierta, plástico, cobre y aluminio, código de barras de identificación, código 2D de sensibilidad y etiquetas personalizadas.²⁸

Características:

- Único sistema de dosimetría con Capacidad de reanálisis.
- Mayor sensibilidad
- Mayor rango de lectura
- Etiqueta con código de barras
- Dosímetro con código de barras
- Resistencia al medio ambiente
- Lineal de 10 μSv (1 mrem) hasta 10 Sv (1000 rem).
- Rango de energía de 5 Kev hasta 20 Mev.
- Reporte mínimo en rayos X, gamma y beta de 50 μSv (5 rem).
- Detección de neutrones adaptando el cr-39, con dosis mínimas reportables de: 200 μSv (20mrem) tremales/intermedio 100 μSv (10mrem).²⁸

LECTORES INLIGHT

Diseñados exclusivamente para los dosímetros Inlight. En el proceso de lectura, el lector utiliza una luz emitida por un conjunto de diodos (LEDS), esta luz estimula el

óxido de aluminio y el haz de luz resultante emitido por el material detector es leído por un tubo fotomultiplicador que usa un sistema contador de fotones altamente sensible. La cantidad de luz emitida durante la estimulación óptica es directamente proporcional a la dosis absorbida. Este proceso dura segundos y solo se utiliza una fracción de la energía contenida en el material detector (Al_2O_3), dando lugar a la capacidad de reanálisis. Con esta técnica se pueden leer altas y bajas energías.²⁹

Características:

- Lectura rápida. De 0 a 13 segundos por dosímetro.
- 250 dosímetros / hora. Siendo esta un gran ventaja en caso de emergencia.
- No necesita calor (TLD)
- No cuarto oscuros (FILM)
- No usa gases de calentamiento (nitrógeno) (TLD)
- No líquidos reveladores (FILM)
- No procesos químicos (FILM)
- No Densitómetros (FILM)

El lector aplica automáticamente el factor de la sensibilidad basado en clave de barras; verifica el código del dosímetro y lee automáticamente las cuatro lecturas, finalmente evalúa la dosis.²⁹

Una vez que se sabe cuál es la dosis en el público y personal ocupacionalmente expuesto, se tiene que ver si es menor o mayor al máximo valor permisible. A continuación se verá los rangos de dosis establecidos por el IPEN.

2.2.8 RANGO DE DOSIS

Los límites de dosis están escritos en el IPEN (Instituto peruano de Energía Nuclear). Estos límites se aplican a la suma de las dosis procedentes de las exposiciones externas en el periodo especificado y las dosis comprometidas a cincuenta años (hasta sesenta años en el caso de niños) a causa de las incorporaciones producidas en el mismo periodo. No se incluirá la dosis debida al

fondo radioactivo natural ni la exposición sufrida como consecuencia de exámenes y tratamientos médicos (Tabla I).¹⁶

El reglamento de protección sanitaria de radiaciones ionizantes clasifica a los trabajadores expuestos en dos categorías A y B. Pertenecen a la categoría A los que puedan recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial, o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino (45 mSv/año), la piel y las extremidades (150 mSv/año). Los trabajadores expuestos de categoría A deben utilizar obligatoriamente dosímetro individual. Pertenecen a la categoría B aquellos trabajadores expuestos que es muy improbable que reciban dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial, o a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades. Los trabajadores expuestos de categoría B no necesitan obligatoriamente utilizar dosímetros individuales, basta con estar sometidos a un sistema de vigilancia dosimétrica que garantice que las dosis recibidas son compatibles con su clasificación en categoría.³⁰

Se consideran trabajadores no expuestos aquellos que es muy improbable que puedan recibir dosis superiores a los límites para los miembros del público. Los trabajadores no expuestos, al tener la consideración de miembros del público, no necesitan ningún tipo de control dosimétrico (Tabla II).³⁰

TRABAJADORES EXPUESTOS DE CATEGORÍA A

Una minoría de las personas que trabajan con radiaciones ionizantes en el medio sanitario puede ser clasificada como trabajadores expuestos de categoría A y necesitarían ser controladas mediante dosimetría individual. En dicha situación se encuentran las personas: Que deben permanecer próximas al haz de radiación en Radiología Intervencionista y Hemodinámica, que preparan y administran dosis radiactivas en Medicina Nuclear, aquellas que están asociadas con la preparación del tratamiento y cuidado de pacientes en Terapia Metabólica, que realizan estas funciones en Braquiterapia. Igualmente se clasificarán como de categoría A aquellos trabajadores que, aun cuando se encuentren sometidos a un riesgo bajo de exposición, en condiciones normales de operación, puedan verse implicados en operaciones especiales con ocasión de situaciones excepcionales contempladas en el plan de emergencia de la instalación. ³⁰

TRABAJADORES EXPUESTOS DE CATEGORÍA B

De acuerdo con las recomendaciones dadas por el IPEN (Instituto Peruano de Energía Nuclear) la mayoría de las personas que trabajan con radiaciones ionizantes en el medio sanitario pueden clasificarse como trabajadores expuestos de categoría B. Por tanto no sería necesaria la utilización de dosímetros individuales por parte de dichos trabajadores siendo suficiente con la realización de una vigilancia dosimétrica de sus puestos de trabajo. No obstante, como la vigilancia individual es relativamente sencilla de llevar a cabo, proporciona una comprobación continua y puede resultar más fácil de adoptar que un programa de vigilancia de áreas, se suele utilizar frecuentemente como una forma de confirmar que las medidas de Protección Radiológica y los procedimientos de trabajo adoptados individualmente por los trabajadores son satisfactorios. Sin embargo, en aquellas ocasiones en que varios trabajadores rotan en un mismo puesto de trabajo, considerado como de categoría B, es recomendable la utilización de dosímetros de puesto de trabajo rotatorio en lugar de dosímetros individuales. Tal podría ser la situación de los facultativos de Radiodiagnóstico que efectúan guardias en urgencias. De forma similar, en aquellos casos en que varios trabajadores pueden permanecer en los alrededores de fuentes de radiación a distancias relativamente grandes, por lo que las dosis a las que están expuestos individualmente cada uno de ellos son muy inferiores a los límites de dosis para trabajadores expuestos de categoría B, es recomendable el uso de dosímetros de área.³⁰

En general, en todos aquellos casos en los que los trabajadores deben permanecer, durante las exposiciones a radiaciones ionizantes, detrás de una mampara fija de protección que garantice que sus condiciones de trabajo son compatibles con su clasificación en categoría B, sería suficiente la realización de una dosimetría de área del puesto de trabajo. El personal que realiza las sustituciones por vacaciones y bajas de trabajadores expuestos de categoría B, durante períodos cortos de tiempo, no necesitaría igualmente la utilización de dosímetro individual. Sus dosis se pueden estimar a partir de los resultados de la vigilancia realizada en el ambiente de trabajo o a partir de mediciones individuales realizadas a otros trabajadores expuestos, según se indica en el artículo 30 del Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.³⁰

TRABAJADORES NO EXPUESTOS

Según las indicaciones del Manual General de Protección Radiológica (Junio 2003), no se considerarán trabajadores expuestos y por tanto no deberán ser controlados dosimétricamente.³⁰

Radiodiagnóstico:

Los administrativos, celadores y personal de limpieza, al ser trabajadores que no participan en la realización de las exploraciones con radiaciones ionizantes, deben ser clasificados como trabajadores no expuestos, es decir miembros del público. El personal sanitario involucrado exclusivamente en las exploraciones mediante Ecografía, que no implican la exposición a radiaciones ionizantes, debe ser clasificado igualmente como trabajadores no expuestos.¹⁸

El personal facultativo que informan las imágenes diagnósticas sin participar directamente en la obtención de las mismas, debe ser clasificado igualmente como trabajadores no expuestos. Los administrativos, al no participar en la realización de las exposiciones con radiaciones ionizantes deben ser clasificados como trabajadores no expuestos.³⁰

Además la dosis equivalente y efectiva recibida por el público y/o personal ocupacionalmente expuesto puede generar ciertos efectos biológicos en el organismo humano.

2.2.9 EFECTOS BIOLÓGICOS

Todas las formas de radiación ionizante producen daños en los tejidos irradiados; pero sin embargo, la eficacia con la que se producen las reacciones tisulares varía con la densidad de ionización en el recorrido de la radiación con la denominada transferencia lineal de energía. La eficacia biológica relativa (EBR) de los rayos alfa y neutrones por unidad de energía absorbida es más elevada que los rayos x o gamma. Las principales diferencias de las radiaciones ionizantes desde el punto de vista biológicos se refieren a su alcance dentro del tejido, esto es, la profundidad que pueden alcanzar dentro del tejido y la forma en que constituyen radicales libres y por consiguiente pierden energía a lo largo de su recorrido. Los efectos de las

radiaciones ionizantes en un organismo, generalmente se pueden dividir en tres partes: Agudos, a largo plazo y genético. Los efectos biológicos de la radiación pueden ser agrupados en dos tipos: efectos deterministas (reacciones tisulares) y efectos estocásticos (cáncer y efectos hereditarios).³¹

2.2.9.1 EFECTOS AGUDOS

Dependen claramente de la dosis recibida y del volumen y tipo de tejidos irradiados. El llamado síndrome de radiación aguda provoca en un primer periodo náuseas, vómitos e incluso diarreas; en una segunda fase, un periodo de aproximadamente una semana, aparece un relativo bienestar; y posteriormente se entra a un tercer periodo, en el que aparece la fiebre, síntomas intestinales y se llega a caer el cabello. En una exposición a dosis muy elevadas aparecen síntomas inherentes al edema pulmonar, y puede producirse la muerte al cabo de uno o dos días. Si se sobrevive a la fase tóxica, la recuperación empieza a partir de la quinta semana y se completa después de un largo período de convalecencia.³¹

2.2.9.2 EFECTOS TARDÍOS

Son muy temidos ya que suelen aparecer muchos años más tarde. Dentro de los efectos tardíos se encuentran: Los efectos determinísticos y los estocásticos.³²

2.2.9.2.1 EFECTOS DETERMINÍSTICOS

Los efectos determinísticos ocurren cuando ha habido una pérdida de función tisular, usualmente como resultado de muerte celular o pérdida del potencial mitótico. El número de células afectadas aumenta rápidamente con la dosis, y el daño de la función tisular se hace evidente por encima de una dosis umbral, la cual es específica para cada tejido. Los procedimientos diagnósticos de Medicina Nuclear están por debajo de la dosis umbral para efectos determinísticos, mientras que la dosis umbral es explotada para la Terapia con Radionúclidos, e idealmente está excedida solamente para el tejido blanco. La dosis umbral está influenciada por la tasa de dosis: las tasas bajas de dosis permiten tiempo para actuar a los mecanismos de reparación y a la repoblación celular. En la Terapia con radionúclidos, la entrega de dosis es prolongada por la biocinética del radiofármaco

y el decaimiento del radionúclido, lo cual reduce la probabilidad y severidad del daño tisular concomitante. En Radioterapia se logra el mismo efecto fraccionando la exposición para minimizar los efectos indeseados en tejidos sanos. Para la mayoría de los tejidos, las dosis umbrales van desde unos pocos Grays administrados como una única dosis, hasta 0.5 Gy/año para exposiciones fraccionadas.³²

Los tejidos más sensibles para efectos determinísticos son:

- La médula ósea
- Los testículos
- El cristalino del ojo.

Aunque la piel no es particularmente radiosensible, es de interés en Medicina Nuclear debido a la posibilidad de alta exposición accidental por contaminación localizada. El umbral para ulceración transitoria se estima en 1 Gy a una profundidad promedio de 1 cm .³²

2.2.9.2.2 EFECTOS ESTOCÁSTICOS

Los efectos estocásticos son eventos probabilísticos, no tienen un umbral y su probabilidad de ocurrencia aumenta con la dosis. Se consideran graves, equivalentes a un evento fatal. Se producen por daño al ADN (mutación en un oncogén o en un gen supresor de tumores), el cual puede derivar en la producción de cáncer o teratogénesis.³³

A. EFECTOS ESTOCÁSTICOS SOMÁTICOS

Si la célula que ha sido modificada tras la irradiación es una célula somática, el efecto se pondrá de manifiesto en el individuo que ha sido expuesto a la radiación. El de mayor relevancia tras exposición a dosis bajas de radiación es el posible desarrollo de cáncer. Se dispone de información procedente de estudios epidemiológicos en supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki y a personas expuesta a radiación externa o a radionúclidos por motivos médicos u ocupacionales. Estos estudios aportan información cuantitativa sobre el riesgo de cáncer a dosis intermedias o altas. A niveles bajos de exposición, es

necesario hacer estimaciones mediante extrapolaciones de los datos de dosis altas

.³³

B. EFECTOS ESTOCÁSTICOS HEREDITARIOS

Si la célula que se ha modificado tras la radiación es una célula germinal, el efecto no se pondrá de manifiesto en el individuo expuesto sino en su descendencia. Hasta el momento no se ha demostrado la inducción por radiación de enfermedades genéticas (hereditarias) en las poblaciones humanas expuestas a la radiación ionizante. Sin embargo la radiación ionizante es un mutágeno universal por lo que parece poco probable que los humanos sean una excepción .³³

2.2.9.3 EFECTOS GENÉTICOS

Las mutaciones se producen por cualquier cambio súbito en un gen o un cromosoma. Pueden deberse a actores externos, como la radiación, o producirse espontáneamente. La radiación en los órganos reproductores puede dañar el ADN de los espermatozoides o los óvulos. Ello podría provocar una anomalía en los descendientes de la persona irradiada. Sin embargo no existe una certeza de que ocurran tales efectos por lo que todos los efectos genéticos se consideran como estocásticos.³⁴

Para disminuir los efectos de la radiación se tiene que cumplir con medidas de protección.

2.2.10 RADIOPROTECCIÓN

La Radioprotección o Protección Radiológica es el conjunto de medidas llevadas a cabo con el fin de disminuir los efectos que la absorción de la radiación produce en el organismo humano. Dicha absorción de energía va a dar lugar a efectos nocivos directos (efecto ionizante de los electrodos sobre las células) e indirectos (formación de radicales libres) sobre el ser humano, y se caracterizan por:

- Producirse al azar
- Ser inespecíficos
- No ser selectivos
- Aparecer tras un determinado periodo de latencia.³⁵

2.2.10.1 MEDIDAS DE PROTECCION RADIOLOGICA

2.2.10.1.1 PROTECCIÓN DEL PACIENTE

Las medidas de protección radiológica por parte del operador hacia el paciente deben emplearse al inicio, durante y después de la exposición a los rayos X. Antes de la exposición a la radiación: como ver la prescripción radiográfica, la elección del equipo y la película, también se debe indicar al paciente que se retire todos los objetos que impida tomar una buena Radiografía, como por ejemplo, lentes, aretes, prótesis, etc. Durante la exposición: se debe proporcionar al paciente una protección adecuada como ser: el uso de mandil de plomo y collar tiroideo. Por último, después de la exposición: el especialista en Radiología debe realizar el manejo adecuado de la película así como el procesamiento del mismo .²

2.2.10.1.2 PROTECCIÓN DEL OPERADOR

Las principales reglas que el operador debe de cumplir son:

Distancia: El operador debe alejarse de la fuente de radiación puesto que su nivel de intensidad disminuye con la distancia.

Blindaje: Mediante el uso de las pantallas protectoras entre la fuente de radiación y el personal, éstas generalmente son muros de hormigón, láminas de plomo o acero o cristales a base de plomo.

Tiempo: Tratar de estar el menor tiempo posible y disminuir la exposición a las radiaciones.

Límite de dosis efectiva: Para la población en general es de 1msv año (milisievers año) y las personas que se dedican a trabajos que implican la exposición a la radiación continua como en la Industria Nuclear, Radiología Médica y además su límite de dosis efectiva será de 100 msv de promedio en 5 años, con el máximo de 50 msv año .² Pueden ocurrir ciertos accidentes radiológicos en el lugar de trabajo y estos son:

2.2.11 ACCIDENTES RADIOLÓGICOS

a) Irradiación externa

b) Contaminación radioactiva: Interna y Externa

2.2.11.1 IRRADIACIÓN EXTERNA

La fuente de irradiación permanece en el exterior del organismo irradiado

- Radiación fotónica: Rayos x o gamma.
- Partículas: Electrones, protones, neutrones, etc.
- Mixta: Fotónica más partículas.

Según su extensión puede ser:

- Global (todo el cuerpo).
- Parcial (irradiación de cabeza o tronco).
- Localizada (irradiación de extremidades).

La irradiación externa se detiene cuando la fuente de radiación está blindada o la persona sale del campo de irradiación.

2.2.11.2 CONTAMINACIÓN

Se entiende por contaminación la presencia de sustancias y/o formas de energía en cantidades mayores de las que se podría esperar en un lugar concreto. La contaminación radioactiva es la presencia de sustancias radioactivas en un medio y/o personas por encima de determinados valores.³⁶

2.2.11.2.1 LA CONTAMINACIÓN RADIATIVA EXTERNA

Se puede producir cuando la sustancia radiactiva presente en el aire (polvo, líquidos) se deposita sobre la superficie exterior del cuerpo (piel, anexos, mucosas) desde la cual lo irradia. Generalmente, este tipo de material radiactivo puede eliminarse del organismo por simple lavado.³⁷

2.2.11.2.2 LA CONTAMINACIÓN RADIATIVA INTERNA

La sustancia radiactiva penetra al organismo por diferentes vías (digestiva, inhalatoria, lesiones cutáneas o piel intacta), o entra de algún modo en el torrente sanguíneo (por ejemplo inyecciones), esta sustancia se distribuye en los fluidos corporales produciendo una irradiación interna.³⁷

Debe considerarse la protección frente a la exposición a radiación externa, que es la exposición frente a fotones y partículas radioactivas y; la contaminación radioactiva interna transferida desde la contaminación radiactiva de superficie. Esta protección se realiza mediante el establecimiento de límites para niveles conocidos de exposición a la radiación y contaminación radioactiva. ³⁷

2.2.12 LOS MÉTODOS DE MONITOREO OCUPACIONAL

Pueden agruparse en dos categorías, los aplicados en los ambientes de trabajo y aquellos utilizados directamente sobre el individuo. En relación a los primeros se pueden citar el monitoreo de los campos de radiación ambiental; el monitoreo de la contaminación del aire; y la medición de la contaminación de las superficies. Respecto a los segundos se pueden citar los dispositivos para la dosimetría individual de la radiación externa (dosímetros); el monitoreo de la contaminación interna mediante contador de cuerpo entero o de la actividad parcial en algún o algunos órganos; el monitoreo de la contaminación interna por técnicas de radiobioanálisis; y la medición de la contaminación de la piel y ropa.⁹

2.2.12.1 MONITOREO AMBIENTAL

El control radiológico ambiental es necesario en los lugares de trabajo calificados como áreas controladas, y suficiente en aquellos establecidos como áreas supervisadas. Por lo tanto, su objetivo fundamental es servir de control principal de la exposición del personal en áreas que no requieren monitoreo individual y actuar como control complementario en áreas en las que se requiere dicho monitoreo. El monitoreo ambiental de las áreas de trabajo permite controlar la dosis recibida por un trabajador, en base a las características de las sustancias radiactivas presentes, la naturaleza de los campos de radiación, la geometría y duración de la exposición, etc. Para ello, los procedimientos de medición a realizar son:⁹

- Monitoreo de los campos de radiación ambiental
- Monitoreo de la contaminación del aire

- Medición de la contaminación de superficies

2.2.12.2 MONITOREO INDIVIDUAL DE LA IRRADIACIÓN EXTERNA

El monitoreo individual de la radiación externa permite evaluar la dosis absorbida durante el tiempo de exposición (a nivel laboral u ocupacional), esto se realiza mediante la utilización de dosímetros. Estos se ubican en la zona que facilite la dosis equivalente máxima en las respectivas partes del cuerpo que son expuestas.⁹

2.2.12.3 MONITOREO INDIVIDUAL DE CONTAMINACION INTERNA

Cuando por alguna circunstancia no puede excluirse la posibilidad de la contaminación regular y significativa de un ambiente de trabajo o cuando se ha producido un incidente cuyas secuelas pudieran dar lugar a problemas de contaminación durante un tiempo, es necesario el monitoreo individual rutinario de la contaminación interna. El mismo tiene por finalidad determinar la incorporación de radionúclidos y en consecuencia, evaluar la dosis equivalente comprometida recibida en todo el cuerpo o en determinados órganos o tejidos del mismo.⁹

Para el control de la contaminación interna pueden utilizarse por separado o en combinación los dos métodos que siguen, cuya elección depende principalmente de las propiedades físicas de los contaminantes:

- Evaluación de la cantidad de materiales radiactivos presentes en todo el cuerpo o algunos órganos por mediciones in vivo.
- Análisis de excretas u otras muestras biológicas.⁹

2.2.13 INSTALACIÓN DEL EQUIPO

2.2.13.1 INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE RAYOS X

-La sala de rayos x debe cumplir con:

- Poseer barreras fijas blindadas, cuyo espesor se fije en base a: ³⁸
 - ✓ 0.1 mGy por semana en áreas controladas
 - ✓ 0.02 mGy por semana en otras áreas

- En caso de contar con ventanas deben estar a una altura suficiente que impida la radiación dispersa en el exterior origine dosis mayores al límite máximo permisible para el público.³⁸
- Contar con las señales de advertencia reglamentarias, ubicadas en las puertas de acceso a la sala de rayos x.³⁸
- En el caso de Fluroscopía y TC, contar con señal luminosa que se encienda durante el procedimiento radiológico.³⁸
- La puerta de acceso a la sala de rayos x debe poseer una cerradura que impida accesos inadvertidos.³⁸
- En el caso de fluroscopía la puerta no debe contar con ningún dispositivo que detenga la emisión de rayos x ante apertura inadvertida.³⁸
- El haz primario no debe dirigirse a la consola de control o puertas de acceso a la sala de rayos x.³⁸

-La consola de control del equipo de rayos x debe ubicarse detrás de las barreras fijas, mamparas móviles o biombos, las cuales tienen las siguientes características:³⁸

- El espesor de blindaje no debe permitir que las dosis sean mayores 0.1 mGy por semana.³⁸
- Dimensiones adecuadas para proteger al operador contra la radiación dispersa.³⁸
- Visor con espesor equivalente a la barrera y dimensiones mínimas de 30cm x 30 cm, u otro sistema para observar al paciente durante la exposición a los rayos x.³⁸

2.2.13.2 INSTALACIÓN DE LA SALA DE TOMOGRAFÍA

-La sala de control para TC debe cumplir con lo siguiente:

- Ser separada de la sala de rayos x y contar con puerta blindada de acceso a la sala de rayos x.³⁸
- El espesor de blindaje no debe permitir que las dosis en la consola de control sea mayor que 0.02 mGy por semana.³⁸
- Contar con un visor espesor equivalente a la barrera y que permita al operador observar al paciente, el gantry, la camilla y la puerta de acceso a la sala de rayos x.³⁸
- Tener medios para comunicarse con el paciente desde la consola de control durante el examen.³⁸
- Tener un acceso independiente a la sala de rayos x.³⁸

-Las salas de rayos x deben tener dimensiones apropiadas para realizar procedimientos radiológicos, de acuerdo al tipo del equipo, y con mínima exposición por radiación dispersa a las personas que interviene.³⁸

2.2.13.3 INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE MEDICINA NUCLEAR

- La instalación de medicina nuclear debe estar en un área de uso exclusivo para manejo de fuentes no selladas, que no esté próxima a materiales combustibles e inflamables, que permita el traslado del material combustible, y que prevenga la contaminación radiactiva fuera de la misma.
- La instalación de Medicina Nuclear debe contar como mínimo con:
 - ✓ Un ambiente exclusivo para almacenar, manipular, fraccionar y preparar los radiofármacos (cuarto caliente), que tenga un área mínima de 3 m². Este ambiente debe contar con lavadero con agua corriente, un castillo de plomo para almacenar los radioisótopos cuyo blindaje se calcule para la máxima actividad a contener en un momento dado.

- ✓ En caso de manipular sustancias volátiles en cantidades mayores a 370 MBq debe contarse con una campana de extracción de gases con filtro de carbón activado.
 - ✓ Un ambiente para la administración del material radioactivo al paciente.
 - ✓ Un ambiente para cada equipo de medición de pacientes, cuyas dimensiones permitan al operador mantenerse al menos a 2 m del paciente y tenga un bajo nivel de radiación de fondo para evitar influencia en sus lecturas.
 - ✓ Una sala de espera y baños exclusivos para pacientes administrados con material radioactivo.
 - ✓ Áreas libres para la recepción y atención de pacientes no incorporados y acompañantes.
- Los blindajes de los ambientes indicados deben diseñarse tomando como base 0.1 mGy por semana en áreas controladas y 0.02 mGy por semana en áreas no controladas.
 - Los pisos y mesas de trabajo de los ambientes donde se use material radioactivo deben estar revestido con material impermeable, lavable, químicamente resistente, curvado en la esquina con la pared, las juntas selladas y pegadas al suelo.
 - Las paredes techos y puertas de los ambientes deben tener superficies lisas y lavables, con juntas selladas.
 - El ambiente de almacenamiento del material radiactivo debe tener una puerta con cerradura.
 - En el ambiente de almacenamiento de material radiactivo debe definirse un área específica para colocar los desechos radioactivos, dentro de un contenedor exclusivo y blindado, cuya capacidad este de acuerdo con el volumen producido. En caso de que dicho volumen exceda la capacidad, los

desechos deben almacenarse en un ambiente separado, debidamente blindado y que posea puerta con llave.

- La ventilación de Medicina Nuclear debe contar con ventilación que proporcione una renovación continua del aire y disminuya la concentración de radioactividad. De haber sistema de climatización, este debe ser exclusivo para la instalación de Medicina Nuclear.
- La instalación debe disponer de salas exclusivas, en cantidad apropiada, para el internamiento de pacientes tratados con actividades mayores a 110 MBq de I^{131} , que tengan un baño exclusivo y blindaje adecuado para la protección de otros pacientes o personas.
- Las tuberías de drenaje de los líquidos activos producidos en la instalación deberán conectarse al desagüe central de la misma o evitar que se conecten con otras tuberías de la instalación y, de ser posible, estar marcados para fines de monitoreo en su mantenimiento.

En toda área de trabajo es importante la presencia de un oficial de protección radiológica (OPR), esto está dado en la normativa del IPEN IR.003.2013 e IR.002.2012, debido a que el OPR cumple funciones importantes.

2.2.14 FUNCIONES DEL OFICIAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

2.2.14.1 FUNCIÓN DEL OFICIAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN DIAGNÓSTICO MÉDICO CON RAYOS X

- Tiene la función de supervisar el cumplimiento de las normas de protección radiológica y aplicar el programa de protección radiológica en la instalación.

2.2.14.2 FUNCIÓN DEL OFICIAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN MEDICINA NUCLEAR

- Supervisar el cumplimiento de los límites y condiciones de la licencia de operación, el programa de protección radiológica y normas aplicables.

- Informar cualquier hecho que pueda implicar un aumento del riesgo radiológico para el trabajador expuesto o el público, investigar sus causas y consecuencias e implementar las medidas correctivas que correspondan.
- Supervisar que los procedimientos de emergencia y material necesario para la actuación, estén disponibles.
- Asesorar en la toma de decisiones relativas a la protección radiológica y seguridad en la instalación.
- Implementar y llevar a cabo la vigilancia radiológica de la instalación y del trabajador expuesto.
- Identificar las áreas controladas y supervisadas, estableciendo el control de acceso de las áreas controladas.
- Asegurar que los instrumentos de vigilancia radiológica estén disponibles y que estén calibrados y mantenidos de la forma adecuada.
- Instruir al personal de la instalación sobre los procedimientos de protección radiológica.
- Supervisar y realizar la gestión de desechos radioactivos de acuerdo a las condiciones establecidas por la OTAN.
- Estar presentes durante las inspecciones de la OTAN.
- Elaborar, supervisar y participar en los programas de entrenamiento y reentrenamiento del trabajador expuesto.
- Ejercitar el plan de emergencia y conducir la investigación e implementación de acciones correctivas, resultantes de exposiciones accidentales, médicas u ocupacionales.

- Elaborar y mantener actualizada la documentación, procedimientos y registros requeridos por la OTAN.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Radiología: Especialidad que se ocupa del uso de rayos x y otras formas de energía radiante en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades.

Dosímetro: Instrumento que se emplea para medir y evaluar cualquier magnitud relacionada con la determinación de la dosis de radioactividad absorbida o la dosis equivalente.

Radiación Ionizante: Radiación Electromagnética o radiación de partículas (partículas primarias de alta energía) capaz de producir directa o indirectamente iones en su paso a través de la materia. Las longitudes de onda de la radiación electromagnética ionizante son iguales o menores que los de la radiación ultravioleta corta (lejana), e incluyen rayos gamma y γ -X.

Tomografía Computarizada Multidetector: Tipos de tecnología de tomografía computarizada espiral en el que varios sectores de los datos se adquieren al mismo tiempo la mejora de la resolución sobre la tecnología única de adquisición de corte.

Medicina Nuclear: Campo de la especialidad radiológica que se ocupa del uso en el diagnóstico, tratamiento y en la investigación de los compuestos farmacéuticos radioactivos.

Protección Radiológica: Se refiere a la protección de individuos y de todo el género humano, permitiendo al mismo tiempo ejercer actividades que puedan ocasionar exposición a las radiaciones ionizantes. Medidas que se adoptan para evitar o reducir los efectos de una dosis de material radioactivo proyectada hacia la población.

III. MATERIAL Y METODOS

3.1 TIPO DE ESTUDIO

Se trata de un estudio observacional, descriptivo, retrospectivo y transversal.

Es observacional porque no se intervino o manipuló el factor de estudio.

Es descriptivo porque se describió la distribución de variables, sin considerar hipótesis causales o de otro tipo.

Es retrospectivo porque cuando se inició el estudio, el evento investigado ya había ocurrido y se reconstruyó su ocurrencia en el pasado utilizando registros.

Es transversal porque el resultado se midió en una población definida y en un punto específico de tiempo, no involucró seguimiento.

3.2 POBLACIÓN

La población está formada por 12 reportes dosimétricos donde se encuentra la dosimetría efectiva y equivalente de todos los trabajadores del área de Radiología, siendo 22 los Tecnólogos Médicos del Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz” en el periodo de Enero 2015 –Diciembre 2015.

3.3 ÁREA DE ESTUDIO

Servicio de Radiología – Departamento de Diagnóstico por Imágenes del Hospital Nacional PNP "Luis N. Sáenz", ubicado en la av. Brasil cuadra 26, Jesús María.

3.4 DISEÑO MUESTRAL

- Muestra: No probabilística

Es no probabilística porque las muestras se recogieron en un proceso que no brindó a todos los individuos de la población iguales oportunidades de ser seleccionados, fueron seleccionados en función al criterio intencional del investigador.

Se analizó 12 reportes dosimétricos sin ningún sistema aleatorio.

- Marco muestral: El registro de todos los Tecnólogos Médicos que laboran en el área de Radiología del Hospital Nacional PNP "Luis N. Sáenz", en el periodo de Enero 2015-Diciembre 2015.
- Unidad de observación y análisis: Tecnólogos Médicos que laboran en el área de Radiología .Tipo de muestra: No probabilística

La presente investigación por ser de tipo descriptivo, no presenta hipótesis.

3.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN

3.5.1 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Se incluyeron todos los reportes de las dosimetrías de los Tecnólogos Médicos que laboran en el área de Radiología en el Hospital Nacional PNP "Luis N. Sáenz" en el periodo de Enero 2015– Diciembre 2015.

3.5.2 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Reportes dosimétricos deteriorados o semidestruidos de los Tecnólogos Médicos los cuales no mostraran claramente la información.

- Reportes dosimétricos de los trabajadores ocupacionalmente expuestos que no son Tecnólogos Médicos que laboran en el área de Radiología.
- Reportes dosimétricos incompletos de Tecnólogos Médicos que laboran en el área de Radiología.

3.6 MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	
PROBLEMA GENERAL ¿Cuáles son valores de dosimetría efectiva y equivalente en Tecnólogos Médico que laboran en el área de Radiología. Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz enero 2015- diciembre 2015?	OBJETIVO GENERAL Determinar valores de dosimetría efectiva y equivalente en Tecnólogos Médicos que laboran en el área de Radiología. Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz enero 2015- diciembre 2015	Dosimetría Equivalente y Efectiva	Equivalente	Dosimetría:	
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS <ul style="list-style-type: none">Determinar la distribución del Tecnólogo Médico que labora en el área de Radiología según Sexo.Determinar la distribución del Tecnólogo Médico que labora en el área de Radiología según área de trabajo.Determinar los valores de dosimetría efectiva mensual y anual según área de trabajoDeterminar de los valores de dosimetría equivalente mensual y anual en piel según área de trabajoDeterminar los valores de dosimetría equivalente mensual y anual en cristalino según área de trabajo.Determinar los valores de dosimetría efectiva mensual y anual según sexo.Determinar los valores de dosimetría equivalente mensual y anual en piel según sexoDeterminar los valores de dosimetría equivalente mensual y anual en cristalino según sexo.			Efectiva	Cristalino
					Piel de extremidades
			Dosimetría :		
		Normal			
		Por encima del límite normal			
		Trabajo del Tecnólogo Médico	Área de trabajo del Tecnólogo Medico	Lugar de desempeño profesional:	
	Radiodiagnóstico				
	Medicina nuclear				
				Tomografía Computarizada	

3.7 OPERACIONALIDAD DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Tipo de variable	Escala de medida	Indicador	V. final	Instrumento de medición
Dosimetría	La dosis equivalente introduce factores de peso que ponderan estos efectos biológicos en función de la radiación. De esta forma, la dosis equivalente se define como el producto entre uno de estos factores de peso y la dosis absorbida. Probabilidad de aparición de efectos estocásticos en un determinado órgano o tejido depende no solo de la dosis equivalente recibida por dicho órgano o tejido, sino también de la radiosensibilidad del órgano irradiado.	Efectiva	Cuantitativa	razón	Dosimetría	-M -Cristalino(Hasta 150 msv) Considerando a M=0.00	Reportes dosimétricos
Dosimetría equivalente						-M -Piel y extremidades (Hasta 500 msv) Considerando a M=0.00	Reportes dosimétricos
Dosimetría efectiva		Equivalente	Cuantitativa	razón	Dosimetría	-M -Normal (Hasta 20 msv en 1 año) -Por encima del límite normal Considerando a M=0.00	Reporte dosimétricos
Trabajo del tecnólogo medico	Lugar donde el profesional de Tecnología Médica desempeña su oficio y entrega exámenes y procedimientos destinados al diagnóstico y tratamiento de patologías	Área de trabajo del tecnólogo medico	Cualitativa	Nominal	Lugar de desempeño profesional	Radiodiagnóstico Medicina nuclear Tomografía Computarizada	Ficha recolección de datos
Intervinientes Género	Fenotipo biológico del profesional de tecnólogo medico	Sexo	Cualitativa	Nominal	Sexo	Femenino Masculino	Ficha recolección de datos

3.8 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN

El método que se utilizó fue la observación a través de un registro de datos, lo que permitió la recolección de información de las dosimetrías efectivas y equivalentes de los Tecnólogos Médicos que laboran en el área de Radiología del Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz” a través de una ficha de datos.

3.9 PLAN DE PROCEDIMIENTOS

Se solicitó la autorización al Director del Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz” para poder realizar el estudio correspondiente.

En el Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz” el Tecnólogo Médico del área de Radiología recibieron mensualmente su dosímetro personal.

El Tecnólogo Médico del área de Radiología todos los días se colocó el dosímetro desde su hora de ingreso hasta la hora de su salida y luego lo guardó. Finalizado el mes entregaron su dosímetro a la encargada y ella le entregó al proveedor los dosímetros de todos los trabajadores ocupacionalmente expuestos para que puedan ser leídos y éste le entregó un dosímetro nuevo y los reportes de lectura de dosimetría del mes anterior.

Primero se revisó el folder de registro de los valores dosimétricos de los Tecnólogos Médicos que laboran en el área de Radiología expuestos durante el periodo señalado ya que contiene los datos de la dosis efectiva y dosis equivalente. En este caso, se seleccionaron los que cumplieron con los criterios de inclusión. Luego, se procedió a llenar una Ficha de Recolección de datos correspondiente por cada caso a partir de la información obtenida.

Se vaciaron los datos y se analizaron los resultados obtenidos en función de las características del presente estudio. Se cumplió primero con el objetivo principal del estudio determinar los valores de dosimetría efectiva y equivalente, luego se continuó con los demás análisis e interpretaciones.

3.10 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

Los datos fueron ingresados en una base de datos en el programa Excel 2010, a partir de la cual fueron utilizados para el análisis estadístico descriptivo, por medio

del programa SPSS v. 22.0. El análisis realizado fue principalmente descriptivo. Para variables categóricas, los resultados fueron presentados en frecuencias absolutas y porcentuales, según el tipo de datos. Se investigaron posibles relaciones que se puedan establecer en base a los resultados obtenidos durante la investigación.

3.11 CONSIDERACIONES ÉTICAS

El valor de esta investigación radica en la obtención de información actualizada. Se trabajó revisando los reportes dosimétricos de los Tecnólogos Médicos que cumplan los criterios de inclusión.

El investigador fue el responsable de la revisión de los reportes dosimétricos de los Tecnólogos Médicos, nadie más tendrá acceso a dicha información.

Se trabajó con fichas de recolección diseñada por el investigador y se le asignó un número de caso a cada Tecnólogo Médico, no habrá forma de identificar a los Tecnólogos que sean incluidos en el estudio.

IV.RESULTADOS

TABLA 1

Media y desviación estándar de los valores de Dosimetría efectiva y equivalente de Tecnólogos Médicos que laboran en el servicio de Radiología. Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz”. Enero 2015- Diciembre 2015

	Media (mSv)	Desviación estándar (mSv)	Mínimo (mSv)	Máximo (mSv)
dosis efectiva mensual	0,063	0,118	0,00	0,52
dosis equivalente en piel mensual	0,008	0,039	0,00	0,19
dosis equivalente en cristalino mensual	0,024	0,102	0,00	0,48
dosis efectiva anual	0,761	1,421	0,00	6,25
dosis equivalente en piel anual	0,102	0,479	0,00	2,25
dosis equivalente en cristalino anual	0,297	1,229	0,00	5,75

De la tabla se aprecia que:

La dosis media efectiva mensual es 0,063 mSv \pm 0,118 mSv, con un mínimo de 0 y un máximo de 0,52 mSv.

La dosis media equivalente en piel es 0,008 mSv \pm 0,039 mSv, con un mínimo de 0 y un máximo de 0,19 mSv.

La dosis media equivalente en cristalino es 0,024 mSv \pm 0,102 mSv, con un mínimo de 0 y un máximo de 0,48 mSv.

La dosis media efectiva anual es 0,761mSv \pm 1,421 mSv, con un mínimo de 0 y un máximo de 6,25 mSv.

La dosis media de equivalente en piel anual es 0,102 mSv \pm 0,479 mSv, con un mínimo de 0 y un máximo de 2,25 mSv.

La dosis media equivalente anual es cristalino es 0,297 mSv \pm 1,229 mSv, con un mínimo de 0 y un máximo de 5,75 mSv.

FIGURA 1

Dosimetría efectiva y equivalente de Tecnólogos Médicos que laboran en el servicio de Radiología

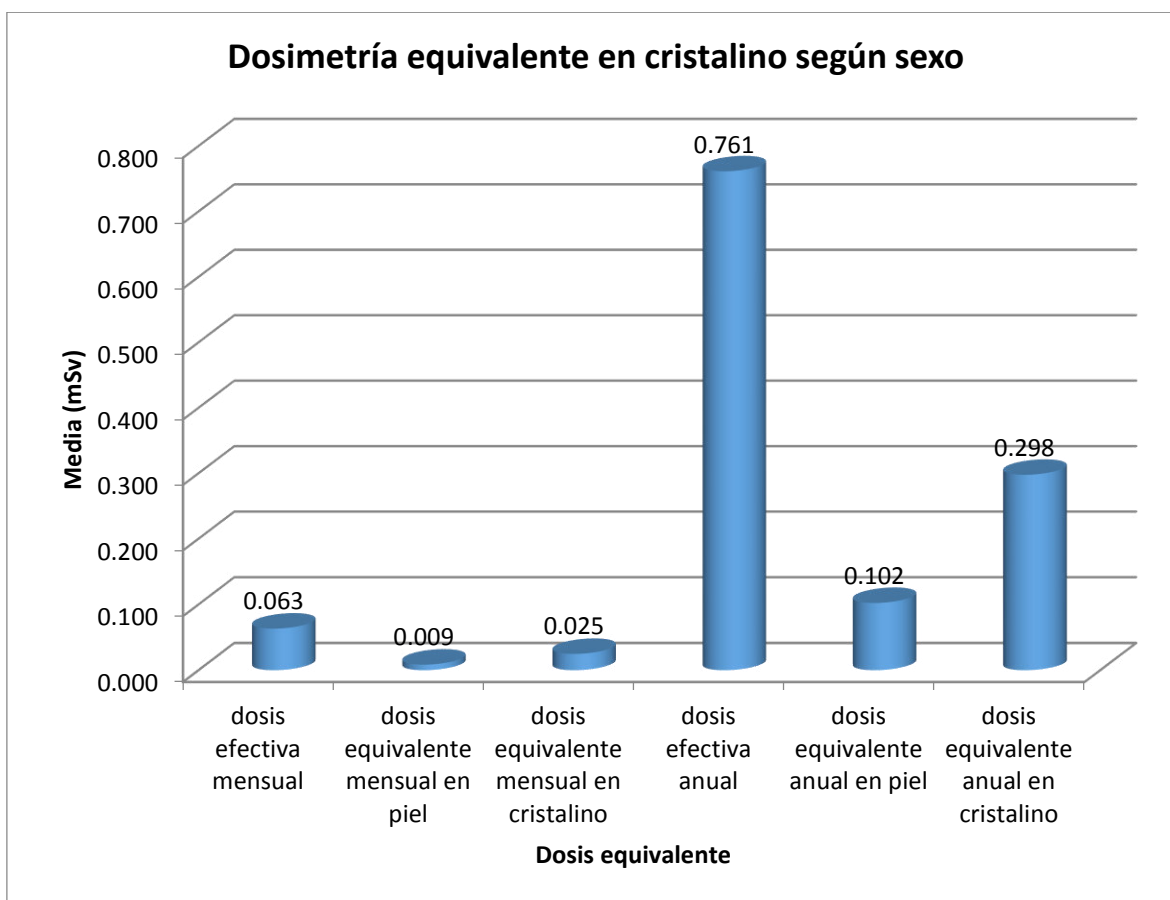


TABLA 2

Distribución según área de trabajo donde labora el Tecnólogo Médico en Radiología. Hospital Nacional PNP "Luis N. Sáenz enero 2015- diciembre 2015

	Frecuencia	Porcentaje
Medicina nuclear	4	18,2
Radiodiagnóstico	15	68,2
Tomografía	3	13,6
Total	22	100,0

De la tabla 2 se aprecia que el 18,2% del total de Tecnólogos Médicos en Radiología labora en Medicina Nuclear el 68,2% del total de Tecnólogos Médicos en Radiología labora en Radiodiagnóstico y el 13,6% labora en Tomografía.

FIGURA 2

Distribución según área de trabajo donde labora el Tecnólogo Médico en Radiología. Hospital Nacional PNP "Luis N. Sáenz enero 2015- diciembre 2015

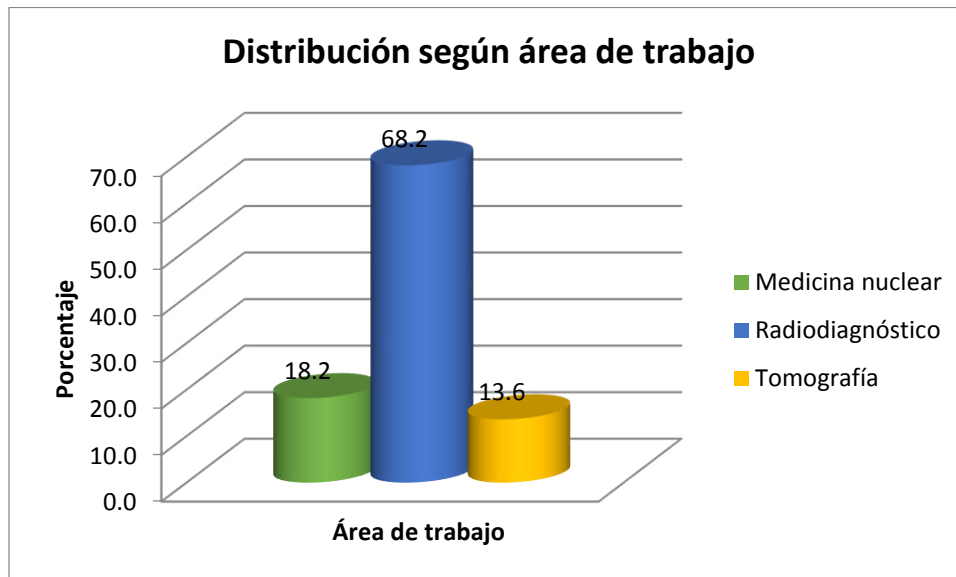


TABLA 3

Distribución según Sexo del Tecnólogo Médico que labora en el área de Radiología. Hospital Nacional PNP "Luis N. Sáenz enero 2015- diciembre 2015

	Frecuencia	Porcentaje
Masculino	15	68,2
Femenino	7	31,8
Total	22	100,0

De la tabla 1 se aprecia que el 68,2% del total de Tecnólogos Médicos en radiología son de sexo masculino y el 31,8% son de sexo femenino.

FIGURA 3

Distribución según Sexo del Tecnólogo Médico que laboran en el área de Radiología

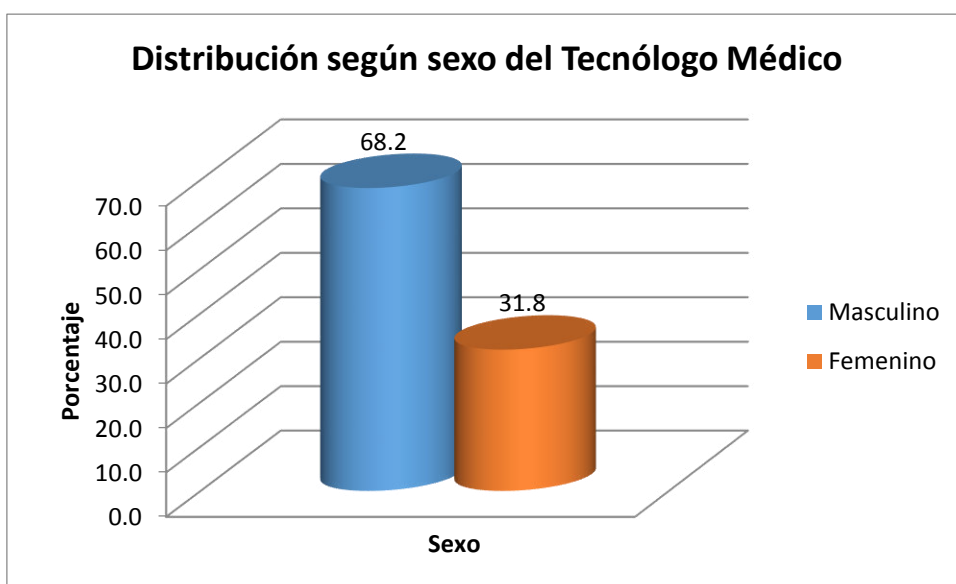


TABLA 4

Media y desviación estándar de los valores de Dosimetría efectiva mensual y anual según área de trabajo.

		N	Media (mSv)	Desviación estándar (mSv)	P
Dosis efectiva mensual	Medicina nuclear	4	0,14	0,08	0,007*
	Radiodiagnóstico	15	0,01	0,02	
	Tomografía	3	0,21	0,27	
Dosis efectiva anual	Medicina nuclear	4	1,66	0,98	0,005*
	Radiodiagnóstico	15	0,17	0,26	
	Tomografía	3	2,50	3,25	

* $p < 0,05$ se encontró diferencias significativas

De la tabla se aprecia que la mayor media estadísticamente significativo $p < 0,05$ en dosis efectiva mensual se encontró en Tomografía (0,21 mSv) mientras que la mayor media estadísticamente significativo $p < 0,05$ en dosis efectiva anual se encontró en Tomografía (2,50 mSv)

FIGURA 4

Valores de Dosimetría efectiva mensual y anual según área de trabajo

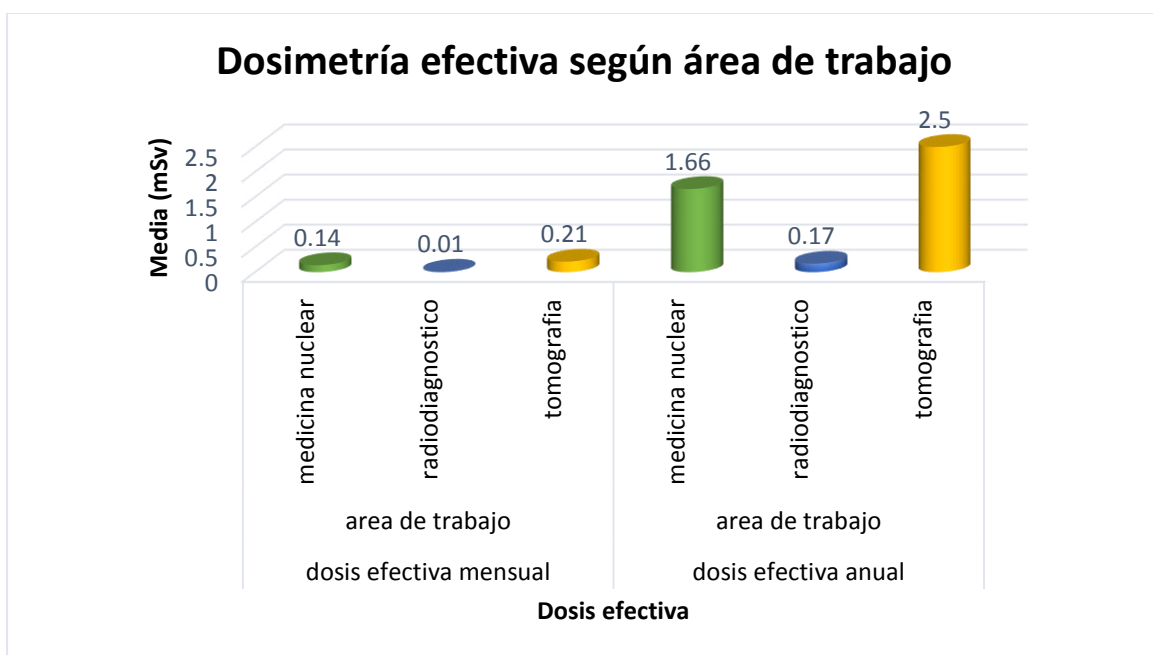


TABLA 5

Media y desviación estándar de los valores de Dosimetría equivalente en piel mensual y anual según área de trabajo.

		N	Media(mSv)	Desviación estándar (mSv)	P
Dosis equivalente en piel mensual	Medicina nuclear	4	0,00	0,00	0,003
	Radiodiagnóstico	15	0,00	0,00	
	Tomografía	3	0,06	0,11	
Dosis equivalente en piel anual	Medicina nuclear	4	0,00	0,00	0,003
	Radiodiagnóstico	15	0,00	0,00	
	Tomografía	3	0,75	1,30	

* $p < 0,05$ se encontró diferencias significativas

De la tabla se aprecia que la mayor media estadísticamente significativo $p < 0,05$ de dosis equivalente en piel mensual se encontró en Tomografía (0,06 mSv) mientras que la mayor media estadísticamente significativo $p < 0,05$ dosis equivalente en piel anual se encontró en Tomografía (0,75 mSv)

FIGURA 5

Valores de Dosimetría equivalente en piel mensual y anual según área de trabajo

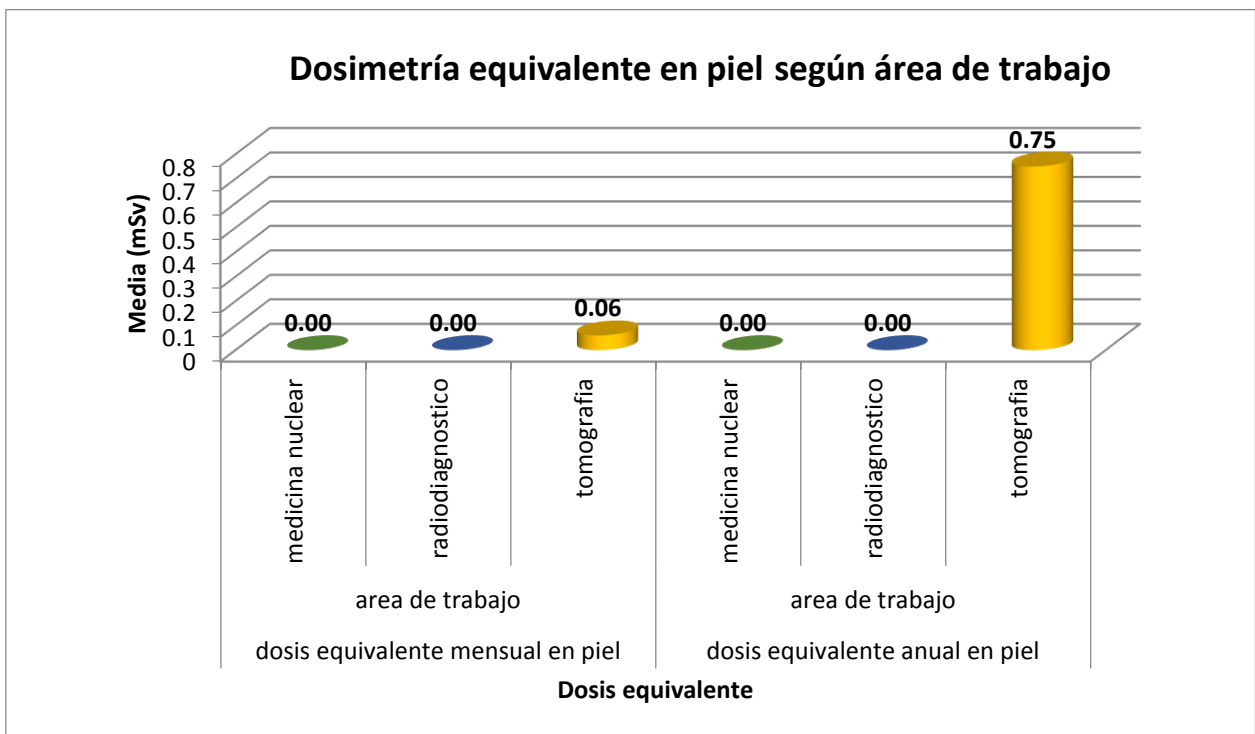


TABLA 6

Media y desviación estándar de los valores de Dosimetría equivalente en cristalino mensual y anual según área de trabajo.

		N	Media(mSv)	Desviación estándar (mSv)	P
Dosis equivalente en cristalino mensual	Medicina nuclear	4	0,02	0,03	0,04
	Radiodiagnóstico	15	0,00	0,00	
	Tomografía	3	0,16	0,28	
Dosis equivalente en cristalino anual	Medicina nuclear	4	0,20	0,40	0,04
	Radiodiagnóstico	15	0,00	0,00	
	Tomografía	3	1,92	3,32	

* $p < 0,05$ se encontró diferencias significativas

De la tabla se aprecia que la mayor media estadísticamente significativo $p < 0,05$ de dosis equivalente en cristalino mensual se encontró en Tomografía (0,16 mSv) mientras que la mayor media estadísticamente significativo $p < 0,05$ dosis equivalente en cristalino anual se encontró en Tomografía (1,92 mSv).

FIGURA 6

Valores de Dosimetría equivalente en cristalino mensual y anual según área de trabajo

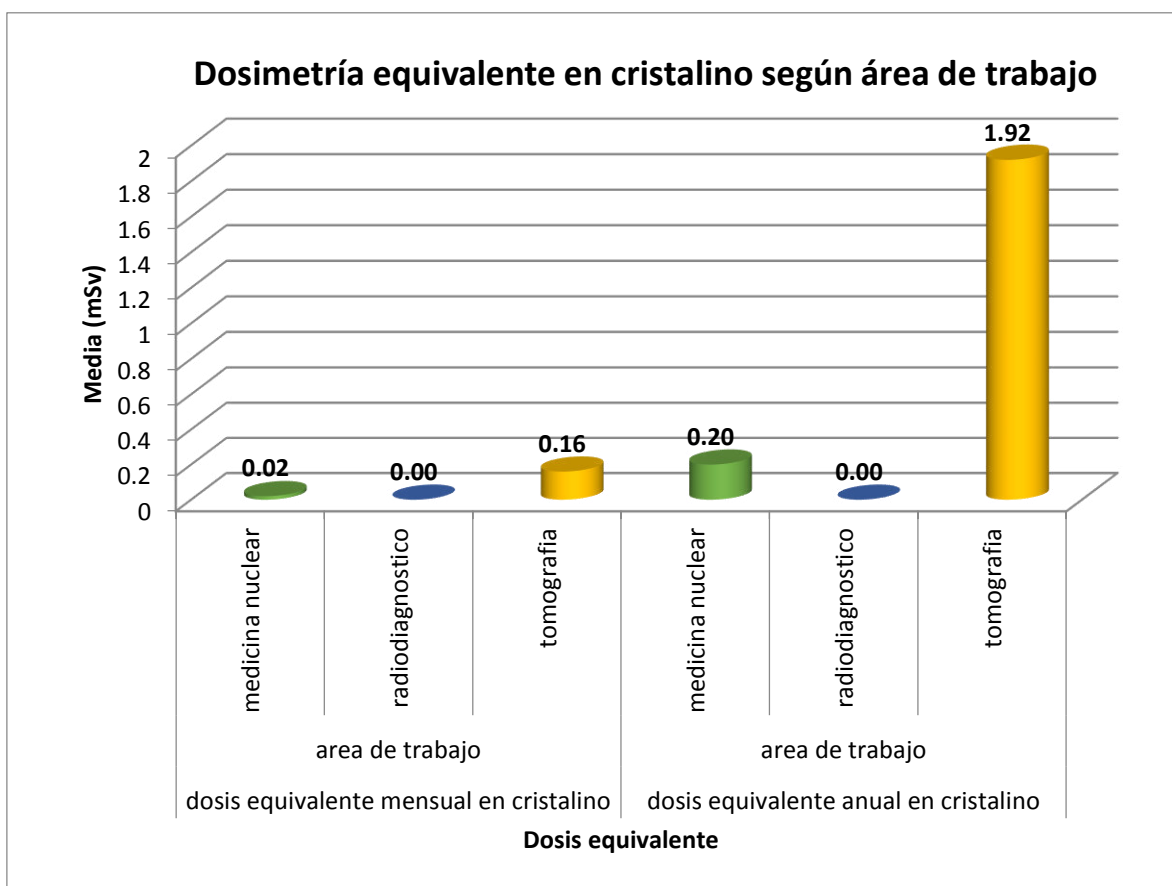


TABLA 7

Media y desviación estándar de los valores de Dosimetría efectiva mensual y anual según sexo.

		N	Media	Desviación estándar	P
Dosis efectiva mensual	Masculino	15	0,04	0,06	0,22
	Femenino	7	0,11	0,19	
Dosis efectiva anual	Masculino	15	0,50	0,67	0,26
	Femenino	7	1,32	2,34	

De la tabla se aprecia que la mayor media en dosis efectiva mensual se encontró en profesionales de Radiología de sexo femenino (0,11 mSv), no se encontró diferencias significativas $p>0,05$, mientras que la mayor media en dosis efectiva anual se encontró en profesionales de Radiología de sexo femenino (1,32 mSv) no se encontró diferencias significativas $p>0,05$

FIGURA 7

Valores de Dosimetría efectiva mensual y anual según sexo

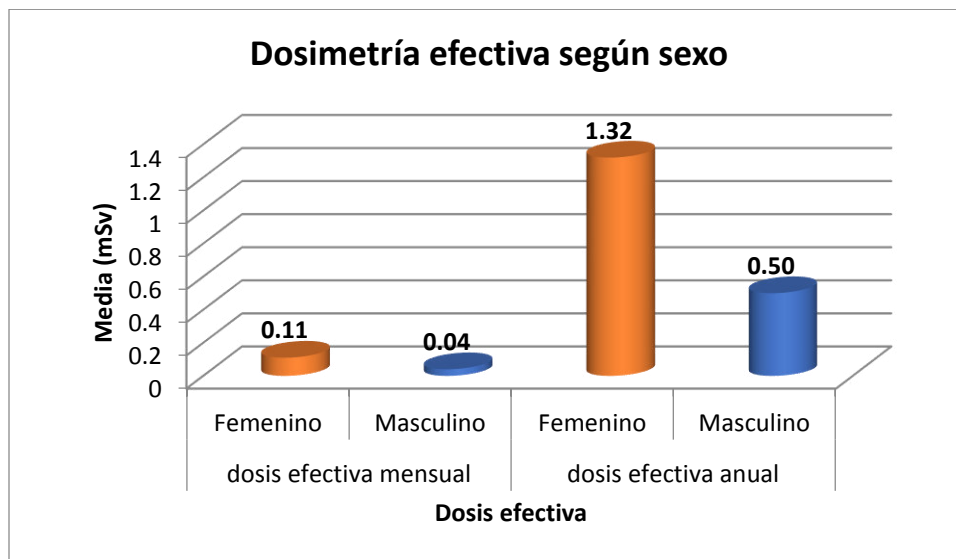


TABLA 8

Media y desviación estándar de los valores de Dosimetría equivalente en piel mensual y anual según sexo.

		N	Media	Desviación estándar	p
Dosis equivalente en piel mensual	Masculino	15	0,00	0,000	0,14
	Femenino	7	0,03	0,07	
Dosis equivalente en piel anual	Masculino	15	0,00	0,00	0,14
	Femenino	7	0,32	0,85	

De la tabla se aprecia que la mayor media en dosis equivalente en piel mensual se encontró en profesionales de Radiología de sexo femenino (0,03 mSv) no se encontró diferencias significativas $p > 0,05$, mientras que la mayor media en dosis equivalente en piel anual se encontró en profesionales de Radiología de sexo femenino (0,32 mSv) no se encontró diferencias significativas $p > 0,05$

FIGURA 8

Valores de Dosimetría equivalente en piel mensual y anual según sexo.

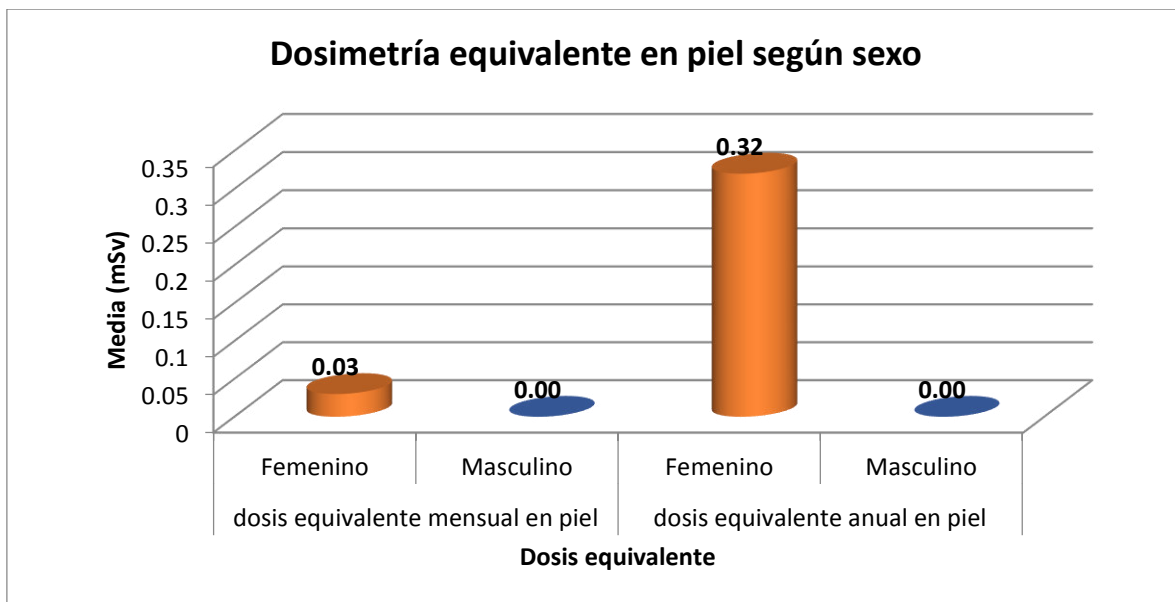


TABLA 9

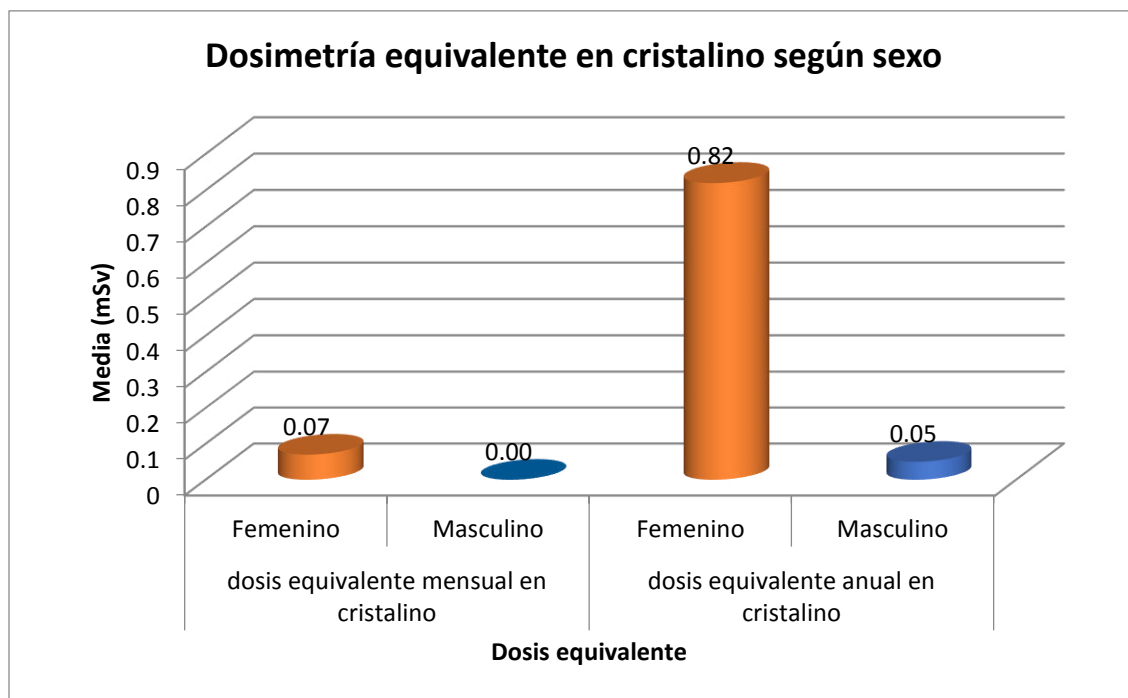
Media y desviación estándar de los valores de dosimetría equivalente en cristalino mensual y anual según sexo.

		N	Media	Desviación estándar
Dosis equivalente en cristalino mensual	Masculino	15	0,00	0,02
	Femenino	7	0,07	0,18
Dosis equivalente en cristalino anual	Masculino	15	0,05	0,21
	Femenino	7	0,82	2,17

De la tabla se aprecia que la mayor media en dosis equivalente en cristalino mensual se encontró en profesionales de Radiología de sexo femenino (0,07 mSv) no se encontró diferencias significativas $p > 0,05$ mientras que la mayor media en dosis equivalente en cristalino anual se encontró en profesionales de Radiología de sexo femenino (0,82 mSv) no se encontró diferencias significativas $p > 0,05$

FIGURA 9

Valores de dosimetría equivalente en cristalino mensual y anual según sexo



V. DISCUSIÓN

La exposición a radiaciones ionizantes en el ambiente laboral involucra las dosimetrías personales de los trabajadores y su evaluación comparativa con los valores de referencia, lo que permite priorizar, y por lo tanto, tomar acciones de prevención eficaces.³⁹

Las estadísticas de la presente investigación reportan que los valores dosimétricos no superaron los valores de referencia admitidos como máximos permisibles anual según IPEN tanto en dosimetría equivalente en cristalino y en piel ni en dosimetría efectiva en los profesionales de Radiología. Esta situación resultó ser similar a la observada en otro país de la región,^{40,41} así como en países desarrollados donde la media de la exposición de una cohorte de enfermeras de seguimiento durante el período de 1974 a 2000 fue de 0,27 mSv.^{42,43}

Los resultados del presente estudio coinciden con la investigación de **Munar et al (2011)**⁷, **Tomasina et al (2010)**⁸ quienes encontraron valores dosimétricos no superaron los valores de referencia admitidos.

Si bien es cierto que los trabajadores están expuestos a valores dosimétricos que no superaron los valores de referencia admitidos no dejan de ser peligrosos, esta aseveración es sustentada con la investigación de **Días et al (2004)**¹⁰ concluyeron que la exposición crónica a bajas dosis de radiación ionizante puede inducir alteraciones cromosómicas, dependiendo de la antigüedad en la ocupación y la exposición semanal, del mismo modo esta conclusión es sustentada por **Shubber y Al Shaikhly**⁴⁴, quienes estudiaron 46 Radiólogos expuestos a dosis bajas (0,02 Gy) de rayos X, y encontraron en ellos rupturas cromosómicas, deleciones y fragilidades. Las bajas dosis de radiación son acumulativas; si una población se expone a largo plazo a bajas dosis de radiación, la frecuencia de mutaciones inducidas y enfermedades malignas, guardará proporción directa con la cantidad total de radiación absorbida a lo largo del tiempo.⁴⁵

Así mismo los resultados de este estudio reportaron que la dosis media equivalente anual en cristalino es 0,297 mSv \pm 1,229 mSv, la dosis media equivalente en piel anual y la dosis media efectiva anual es 0,102 mSv \pm 0,479 mSv y 0,761 \pm 1,421

respectivamente. Estos valores están muy por debajo de los permitidos por el IPEN y también por debajo de los valores dosimétricos obtenidos por **Tomasina et al (2010)**⁸ quien encontró dosis anual máxima recibida fue de 15,72 milisieverts, correspondiente a las áreas de Diagnóstico y Tratamiento Especializado del Hospital Universitario, de igual manera los valores obtenidos están por debajo de los valores dosimétricos obtenidos por **Sont. et al (1990)**¹¹ quien encontró la dosis media anual de toda la cohorte es 6,64 mSv. Estos resultados y los del presente estudio contradice a los resultados de **Caspe (2005)**⁹ quien tuvo como conclusión que del área de Radiología 135 usuarios que representa el 5,4% tuvo dosis anuales superiores a los 6 mSv, la dosis anual promedio de estos 135 usuarios fue de 12,2 mSv con una desviación estándar de 6,6 mSv. Por otro lado, 16 casos superaron el valor de 20 mSv anuales, el cual es el límite de dosis efectiva recomendada en un año, la dosis anual máxima registrada fue de 40,2 mSv. En el caso del área de Medicina Nuclear sobre un total de 512 usuarios 23 usuarios tuvieron dosis superiores a 6 mSv, lo que hace que sólo un 4,5% del total. En este estudio, la dosis anual promedio de estos 23 usuarios fue de 10,5 mSv, con una desviación estándar de 3,9 mSv. En este caso, solo un trabajador recibió una dosis superior a los 20 mSv, el valor de dosis máxima registrado fue 20,6 mSv.

En la investigación de **Tomasina et al (2010)**.⁸ Los promedios de dosis más altas se encontraron en los servicios de Medicina Nuclear y Hemodinamia, excepto para el año 2003, en que el segundo promedio más alto correspondió a Radioterapia Oncológica a diferencia de los resultados del presente estudio donde las dosis más altas se encontró en el área de Tomografía donde la media estadísticamente significativo $p < 0,05$ en dosis efectiva mensual (0,21 mSv) en dosis efectiva anual (2,50 mSv) .

Los resultados de esta investigación evidencia que en los profesionales de sexo femenino se encontró la mayor media de dosis efectiva mensual con un valor de (0,11 mSv), dosis efectiva anual (1,32 mSv); dosis equivalente en piel mensual (0,03 mSv) dosis equivalente en piel anual (0,32 mSv) y dosis equivalente en cristalino mensual (0,07 mSv), dosis equivalente en cristalino anual (0,82 mSv). No se encontró diferencias significativas $p > 0,05$ en relación a la media de dosis de radiación de Tecnólogos Médicos de sexo masculino, estos resultados contradicen

a la investigación de **Sont. et al (1990)** ¹¹ quienes tuvieron como conclusión que la dosis media de toda la cohorte es 6,64 mSv, con los hombres de recibir una dosis mucho más alta que la media de las mujeres (11,50 frente a 1,75 mSv mSv).

Finalmente los resultados evidencia una dosis equivalente en piel mensual de (0,008 mSv) y una dosis equivalente en piel anual de (0,102 mSv), la piel es relativamente radiosensible. El efecto radiobiológico dependerá de la dosis total, la tasa de dosis y el tipo de radiación. Los efectos biológicos sobre la piel incluyen eritema y depilación temporal. La respuesta de la piel a la radiación ionizante se conoce como dermatitis rádica ⁴⁶. La dosis equivalente mensual en cristalino de este estudio es (0,024 mSv) y una dosis equivalente anual en cristalino de (0,297 mSv), con dosis bajas puede ocurrir daño significativo al cristalino produciendo cataratas.⁴⁶

VI. CONCLUSIONES

- Los valores de dosimetría efectiva anual ($0.761 \text{ mSv} \pm 1.421 \text{ mSv}$) y equivalente tanto en piel (0.102 ± 0.479) como en cristalino (0.297 ± 1.229) de Tecnólogos

Médicos que laboran en el servicio de Radiología, está por debajo del máximo valor permisible según el IPEN.

- Los valores de dosimetría efectiva mensual (0.21 mSv) y anual (2.50 mSv) de Tecnólogos Médicos que laboran en el servicio de Radiología según en el área de trabajo, está por debajo del máximo valor permisible según el IPEN, observándose mayor dosimetría en el área de Tomografía.
- Los valores de dosimetría equivalente en piel mensual (0.06 mSv) y anual (0.75 mSv) de Tecnólogos Médicos que laboran en el servicio de Radiología según en el área de trabajo, está por debajo del máximo valor permisible según el IPEN, observándose mayor dosimetría en el área de Tomografía.
- Los valores de dosimetría equivalente en cristalino mensual (0.16 mSv) y anual (1.92 mSv) de Tecnólogos Médicos que laboran en el servicio de Radiología según en el área de trabajo, está por debajo del máximo valor permisible según el IPEN, observándose mayor dosimetría en el área de Tomografía.
- Los valores de dosimetría efectiva mensual (0.110 mSv) y anual (1.32 mSv) de Tecnólogos Médicos que laboran en el servicio de Radiología según sexo, está por debajo del máximo valor permisible según el IPEN, observándose mayor dosimetría en profesionales de sexo femenino.
- Los valores de dosimetría equivalente en piel mensual (0.03 mSv) y anual (0.32 mSv) de Tecnólogos Médicos que laboran en el servicio de Radiología según sexo, está por debajo del máximo valor permisible según el IPEN, observándose mayor dosimetría en profesionales de sexo femenino.
- Los valores de dosimetría equivalente en cristalino mensual (0.07 mSv) y anual (0.82 mSv) de Tecnólogos Médicos que laboran en el servicio de Radiología según sexo, está por debajo del máximo valor permisible según el IPEN, observándose mayor dosimetría en profesionales de sexo femenino.

VII. RECOMENDACIONES

- La presencia de un Oficial de Protección Radiológica es imprescindible según el IPEN, para hacer las estimaciones necesarias en cada tipo de estudios y para vigilar los posibles cambios de estos parámetros que se generen a lo largo del tiempo.
- Realizar un análisis situacional del área de Tomografía debido a los valores de dosimetría encontrado en la presente investigación.
- Realizar tareas de educación y difusión de acciones preventivas, con el objetivo de reforzar las medidas de prevención, enriquecer la calidad del proceso de vigilancia, en particular a partir de mejoras sobre el uso diario y correcto del dosímetro, por cada uno de los trabajadores expuestos.
- Capacitación al personal sobre vigilancia epidemiológica para poder identificar, cuantificar y priorizar, y por lo tanto, diseñar políticas eficaces para la generación sistemática de información para la acción de prevención.
- Dada la sobreutilización de estudios diagnósticos con radiaciones ionizantes que se evidencia en los últimos años, se deben unir esfuerzos para concientizar y promover la protección radiológica en esta disciplina.
- Es necesario establecer un sistema de supervisión de la salud de los trabajadores expuestos a radiación, controles de ingeniería y administrativos, y un programa de educación continua.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

1. Hernández D, Marrero LO, Ledea O. Empleo de la Medicina Nuclear y las Técnicas de las Imágenes en las afecciones del Sistema Óseo. Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología. 2012 Setiembre-Diciembre; 26(2).
2. Del Cura JL, Pedraza S, Gayete A. Radiología Esencial. primera ed. Buenos Aires: Panamericana; 2009.
3. Costa J, Soria JA. Tomografía Computarizada dirigida a Tecnicos Superiores en Imagen para el Diagnostico Medico Barcelona: Fotoletra S.A; 2015.
4. Méndez A, Maldonado JJ. Trastornos Hematopoyéticos en trabajadores expuestos a Radiaciones Ionizantes. Medicina y Seguridad del Trabajo. 2014 Enero-Marzo; 60(234).
5. Pedroso M, Giménez V, Velásquez G, Galván P, Grossling B. Medicina Nuclear en el Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Asunción (IICS-UNA): Estado actual y Proyecciones. Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud. 2014 Diciembre; 12(2).
6. ICRP publicación 105: protección radiológica en medicina. Primera ed. Buenos Aires: Sociedad Argentina de Radioprotección; 2011
7. Munar Casas Carmen –Rios Mora Yaira. Análisis del programa de vigilancia epidemiológica de trabajadores con exposición a radiaciones ionizantes en una IPS de Colombia. Colombia. 2011.
8. Tomasina Fernando, Laborde Amalia, Spontón Freddy, Blanco Daniel, Pintado Carlos, Stolovas Nurit et al . Vigilancia de la exposición a radiaciones ionizantes en el personal universitario de la salud. Rev Cubana Salud Pública [Internet]. 2010 Mar [citado 2016 Abr 20] ; 36(1): 119-127. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662010000100012&lng=es.
9. Caspe N. Dosimetria Personal Fundamentos de la Proteccion Radiologica . [Tesis]. Buenos Aires: Universidad Nacional General San Martín. Escuela de Ciencia y Tecnología
10. Díaz-Valecillos Marbenis, Fernández Janice, Rojas Alicia, Valecillos José, Cañizales Jenny. Alteraciones cromosómicas en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes. Invest. clín [Internet]. 2004 Sep [citado 2016 Jul 22]

- ; 45(3): 197-211. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0535-51332004000300002&lng=es.
11. Sont W. N, Zielinsk, J. M. i, Ashmore J. P., Jiang H., Krewski D, M. E. Fair, P. R. Band and E. G. Létourneau . First analysis of cancer incidence and occupational radiation exposure based on the national dose registry of Canada.
 12. Baños MA. Bases Físicas y Biológicas del Radiodiagnóstico Médico. Segunda ed. España: Universidad de Murcia; 2003.
 13. IPEN [página principal en internet].Perú: Ipen; c2003 [actualizado 2013 Ago 02; citado 2015 Dic 10]. [Aprox. 3 pantallas].Disponible en: http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/normatividad/ds009_97em.pdf
 14. Andisco D, Blanco S, Buzzi AE. Dosimetría en Radiología. Revista Argentina de Radiología. 2014 Abril-Junio; 78(114-117).
 15. Cherry Jr. Vigilancia de la salud en el trabajo. Seguridad radiológica. Radiaciones ionizantes. Enciclopedia de salud y seguridad e el trabajo.3ra ed. Madrid: Ministerio de Trabajo Sociales;2010:48-9. [En español].
 16. IPEN. [Página principal en internet].Perú: Ipen; c2003 [actualizado 2013 Ago 03; citado 2015 Dic 10]. [Aprox. 3 pantallas].Disponible en: http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/normatividad/nsr_PR002-2011.pdf
 17. Magnitudes y unidades dosimétricas. Viena: International Atomic Energy Agency
 18. Instituto Catalán de la Salud. Técnico Especialista en Radiodiagnóstico de Atención Primaria Sevilla: MAD; 2006.
 19. Carrio I, Gonzales P. Medicina Nuclear: Aplicaciones Clínicas .España: Masson; 2003.
 20. Ziessman H, O'Malley J, Thrall J. Medicina Nuclear: Los Requisitos en Radiología. Tercera ed. España: Elsiever; 2007.
 21. Cromer AH. Física para las Ciencias de la Vida. Segunda ed. Barcelona: Reverte; 2007.
 22. Cristina PM. La Física en la Medicina. Segunda ed. D.F México: Fondo de Cultura Económica; 2013.
 23. Fernandez JM, Gonzalez AM, Gracia A. Fundamentos de Fisica Medica. Brosed A.Madrid: ADI Servicios Editoriales.

24. Proteccionradiologia's Blog: Dosimetría[Internet].España: protección radiológica.2010. [Consultado 2015 Dic 12]. Disponible en: <https://proteccionradiologica.wordpress.com/category/5-dosimetria/>
25. Nuclearcontrol[página en internet]. Perú: nuclearcontrol; c2007 [citado 9 ene 2016];[aprox. 3 pantallas]. Disponible en: <http://www.nuclearcontrol.com.pe/pe/dosimetro.pdf>
26. Nuclearcontrol[página en internet]. Perú: nuclearcontrol; c2007 [citado 9 ene 2016];[aprox. 3 pantallas]. Disponible en: <http://www.nuclearcontrol.com.pe/pe/lector.pdf>
27. Cortez JM. In Tecnicas de Prevencion de Riesgos Laborales: Seguridad e Higiene del Trabajo. novena ed. Madrid: Tebar; 2007.
28. Fuentes L, Felipe S, Valencia V. Efectos Biológicos de los Rayos x en la Práctica de Estomatología. Revista Habanera de Ciencias Médicas. 2015 Mayo-Junio; 14(3).18.
29. Díaz J. Manual Básico de Enfermería: Técnica y Quirúrgica Madrid: Díaz de Santos; 1998.
30. Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes. Real Decreto 783/2001 [página en internet]. España: Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes;c2001 [citado 15 ene 2016];[aprox. 1 pantalla]. Disponible en: .
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2001-14555
31. Gil JM, Andrades H, Ramos S, Rodriguez R, De la Corte L. Tecnico especialista en Radiodiagnostico del Servicio Gallego de Salud MAD E, editor. Sevilla: MAD; 2006.
32. ONU [Internet] España: ONU; [Actualizado febrero 2015; citado 1 setiembre 2015]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/es/>
33. Menendez F, Fernandez F, Llaneza F, Vasquez I, Rodriguez ja, Espeso M. Formacion Superior en Prevencion de Riesgos Laborales. primera ed. España: Lex Nova; 2007.
34. Núñez M. Efectos biológicos de las radiaciones – Dosimetría. Escuela Universitaria de Tecnología Médica UdelaR, Montevideo, Uruguay Comité de Tecnólogos de ALASBIMN.2008

35. Del Cura JL, Pedraza S, Gayete A. Radiología Esencial. primera ed. Buenos Aires: Panamericana; 2009.
36. Whaites E. Fundamentos de la Radiología Dental. cuarta ed. España: Elsevier; 2008.
37. Nuñez M. Funciones del tecnólogo en el equipo multidisciplinario de Medicina Nuclear e interacción con el paciente. Escuela Universitaria de Tecnología Médica UdelaR, Montevideo, Uruguay: Comité de Tecnólogos Médicos-Alasbimn; 2008.
38. Moya L, Gutiérrez L. Principios de la Radiofísica. Revista de Actualización Clínica Investiga. 2013 Setiembre; 37.
39. Lemus J, Tigre C, Ruiz P, Dachs N. Manual de vigilancia epidemiológica. Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. Fundación W.K. Kellogg, Washington: OMS;1996.
40. Osorio AM, Reynolds P. Sistema de vigilancia de las enfermedades. En: Diagnóstico y tratamiento en medicina laboral y ambiental. 3ra ed. México: Internacional Mc. Graw-Hill. 2005;p.853.
41. García AM, Benavides F, Ruiz Frutos C. Salud laboral. En: Salud laboral. Conceptos y técnicas para la prevención de riesgos laborales. 2da ed. Madrid: Masson;2001.p.54.
42. Cherry Jr. Vigilancia de la salud en el trabajo. Seguridad radiológica. Radiaciones ionizantes. Enciclopedia de salud y seguridad e el trabajo.3ra ed. Madrid: Ministerio de Trabajo Sociales;1998:48-9. [En español].
43. Johns HE, Cunningham JR. The physics of Radiology. Springfield: Thomas; 1983.
44. Bernui M. "Interacción de la radiación ionizante y sus efectos biológicos" UNMSM
45. Shubber EK, Al Shaikhly AW. Cytogenetics analysis of blood lymphocytes from X-Ray radiographers. Int Arch Occup Environ Health 1989; 61: 385 –389.
46. Griffiths A, Millar J. Mutaciones Génicas. En: Introducción al Análisis Genético. 5^{ta} Edición; 1995. p 200-205

IX.ANEXOS

ANEXO 1

Límites de dosis para distintas clases de personal

TABLA I

Clasificación del personal	Dosis efectiva	Dosis en cristalino	Dosis en piel y extremidades
Trabajador expuesto	100 mSv/quinquenio 50 mSv/año	150 mSv/año	500 mSv/año
Miembro del público	1 mSv/año	15 mSv/año	50 mSv/año
Estudiantes de 16-18 años	6 mSv/año	50 mSv/año	150 mSv/año

Fuente IPEN

TABLA II

Niveles de dosis para la clasificación de los trabajadores

Clasificación del personal	Dosis efectiva	Dosis en cristalino	Dosis en piel y extremidades
Trabajador expuesto de categoría A	> 6 mSv/año	> 45 mSv/año	> 150 mSv/año
Trabajador expuesto de categoría B	< 6 mSv/año	< 45 mSv/año	< 150 mSv/año
Trabajador no expuesto	< 1 mSv/año	< 15 mSv/año	< 50 mSv/año

**Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.
Real Decreto 783/2001 (BOE 26/07/2001)**

TABLA III

Factor de ponderación de los tejidos W_T

TEJIDO	W_T
Gónadas	0.08
Médula ósea	0.12
Colon	0.12
Pulmones	0.12
Estomago	0.12
Vejiga	0.04
Mama	0.05
Hígado	0.05
Esófago	0.04
Tiroides	0.05
Superficie ósea	0.01
Piel	0.01
Resto	0.05

Fuente IPEN

TABLA IV
Factores de ponderación de la radiación W_R

TIPO DE RADIACION	W_R
Fotones	1
Electrones y Muones	1
Neutrones	5-20
Partículas Alfa	20

Fuente IPEN


ANEXO 2: DOSÍMETRO



Fuente Nuclear Control


ANEXO 3

REPORTE DOSIMÉTRICO



nuclear control
EXOSMETROS DE RADIACIONES

Reporte de Dosimetría
de Radiaciones



In Light Systems
W. LANBAUER

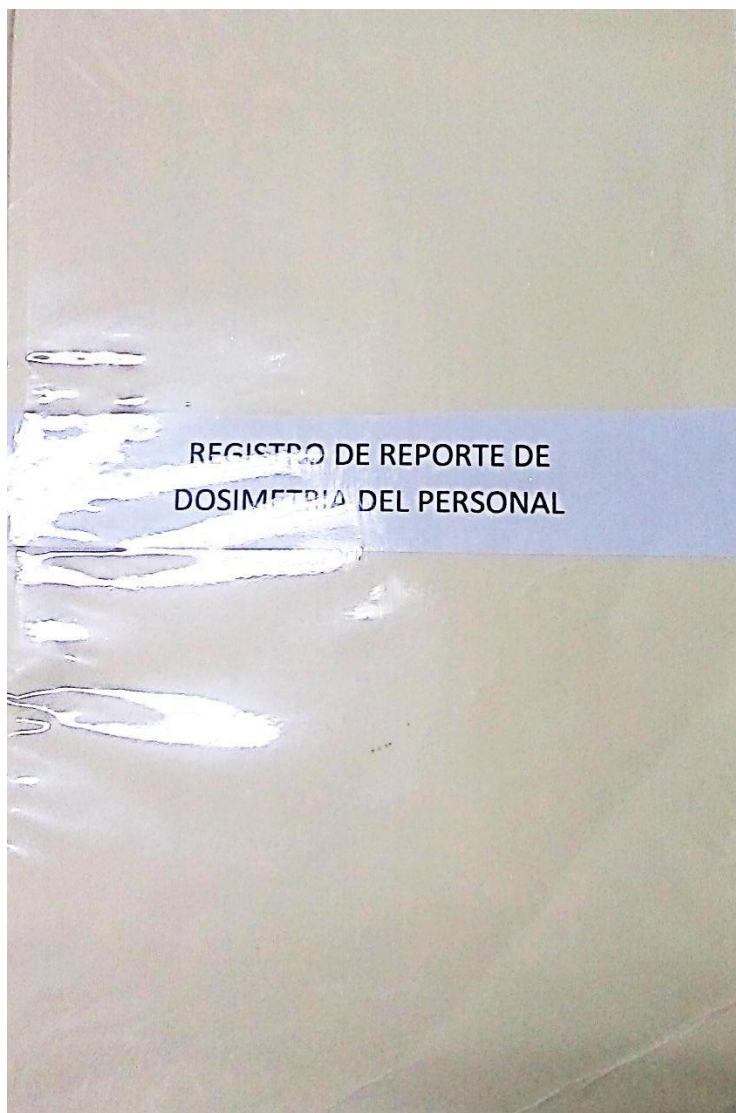
CÓDIGO	CLIENTES	PROCESO	PÁG.
1502	HOSP. CENTRAL PNP	20150914 Sept 2015	1

PARTICIPANTE			DOSIS DEL MES EN MILISIEVERTS						DOSIS ANUAL EN MILISIEVERTS					
CÓDIGO	NOMBRES	SEXO	TP	RAD	EFFECTIVA	CRISTALINO	PIEL	EFFECTIVA	CRISTALINO	PIEL	AÑO	REP	MES	NUMERO
00712		M	1	1	M	M	M	0.00	0.00	0.00	8	8	2015	615375
01987		M	1	1	M	M	M	0.40	0.00	0.00	7	8	2015	615376
02693		M	1	1	M	M	M	0.00	0.00	0.00	7	8	2015	615377
02726		M	1	1	M	M	M	0.15	0.00	0.00	8	8	2015	615378
02973		M	1	1	M	M	M	1.15	0.00	0.00	11	8	2015	615380
04036		M	1	1	M	M	M	0.10	0.00	0.00	8	8	2015	615381
04331		M	1	1	M	M	M	0.70	0.00	0.00	7	8	2015	615383
04843		M	1	1	M	M	M	0.10	0.00	0.00	10	8	2015	615385
04876		M	1	1	M	M	M	0.00	0.00	0.00	8	8	2015	615386
05029		M	1	1	M	M	M	0.15	0.00	0.00	13	7	2015	610560
05029		M	1	1	M	M	M	0.15	0.00	0.00	13	8	2015	615387
05180		M	1	1	M	M	M	0.20	0.00	0.00	7	8	2015	615389
05343		M	1	1	M	M	M	0.15	0.00	0.00	11	8	2015	615390
05526		M	1	1	M	M	M	0.10	0.00	0.00	8	8	2015	615391
05630		M	1	1	M	M	M	0.10	0.00	0.00	7	8	2015	615392
08111		M	1	1	M	M	M	0.20	0.00	0.00	14	8	2015	615393
08927		F	1	1	M	M	M	0.00	0.00	0.00	2	8	2015	615396
07996		M	1	1	M	M	M	0.10	0.00	0.00	7	8	2015	615397
10203		F	1	1	M	M	M	4.00	3.50	0.00	11	8	2015	615398
10234		F	1	1	0.10	M	M	0.45	0.00	0.00	12	8	2015	615399

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16

Fuente Nuclear Control

FOLDER DE REPORTES DOSIMÉTRICOS



Fuente Propia

ANEXO 4

ÁREAS DE TRABAJO

1. EQUIPO-GAMMACÁMARA



Fuente Propia

2. EQUIPO TOMÓGRAFO



Fuente Propia

3. EQUIPO DE RADIODIAGNÓSTICO



Fuente Propia

ANEXO 5

CONSENTIMIENTO INFORMADO

VALORES DE DOSIMETRÍA EFECTIVA Y EQUIVALENTE DE TECNÓLOGOS MÉDICOS QUE LABORAN EN EL ÁREA DE RADIOLOGÍA. HOSPITAL NACIONAL PNP “LUIS N. SÁENZ”. ENERO 2015- DICIEMBRE 2015

INVESTIGADOR: CHUCO ESPINOZA, Sheyla Lucila

OBJETIVO: Cuáles son los valores de dosimetría efectiva y equivalente Tecnólogos Médicos que laboran en el en el área de Radiología. Hospital Nacional PNP “Luis N. Sáenz”. Enero 2015- Diciembre 2015.

REFERENCIA: Cualquier duda comunicarse con CHUCO ESPINOZA, Sheyla Lucila RPC N° **965423077**

Derecho de autonomía y libre retiro: los participantes de este estudio están en la plena libertad de retirarse del estudio cuando ellos desean.

Manifiesto libremente que he sido informado sobre el objetivo del estudio ,el cual es saber **CUÁLES SON LOS VALORES DE DOSIMETRÍA EFECTIVA Y EQUIVALENTE DE TECNÓLOGOS MÉDICOS QUE LABORAN EN EL ÁREA DE RADIOLOGÍA. HOSPITAL NACIONAL PNP “LUIS N. SÁENZ”. ENERO 2015- DICIEMBRE 2015.**

Y expreso que he recibido la información necesaria y comprendido las actividades de mi participación en el presente proyecto; por lo cual acepto participar en forma anónima y voluntaria, y al mismo tiempo autorizo el uso de la información “reportes dosimétricos”, para cumplir con los objetivos de la investigación.

Nombre del Participante

DNI N°

Nombre del Investigador

DNI N°

ANEXO 6

SOLICITUD DE PERMISO PARA LA REALIZAR EL TRABAJO DE CAMPO DE LA INVESTIGACIÓN

SOLICITO: Permiso para evaluación y acceso a la información de los reportes dosimétricos de los Tecnólogos Médicos que laboran en el área de Radiología en el Hospital Nacional PNP “LUIS N. SÁENZ”

Yo, CHUCO ESPINOZA, Sheyla Lucila estudiante de la Escuela Académica Profesional de Tecnología Médica del área de Radiología. Ante Ud. con el debido respeto me presento y digo.

Que, en cumplimiento con las normas y reglamento de titulación de la Universidad Nacional mayor de San Marcos y conocedores de su espíritu de apoyo a la investigación solicitamos nos permita la recolección de datos en el área de Radiología las evaluación y accesos a los reportes dosimétricos de los Tecnólogos Médicos, para poder realizar el trabajo de campo de mi investigación denominado **LOS VALORES DE DOSIMETRÍA EFECTIVA Y EQUIVALENTE DE TECNÓLOGOS MÉDICOS QUE LABORAN EN EL ÁREA DE RADIOLOGÍA. HOSPITAL NACIONAL PNP “LUIS N. SÁENZ”**. **ENERO 2015- DICIEMBRE 2015**, agradecerle con anticipación su comprensión y colaboración en la investigación a realizarse.

Por lo expuesto.

Ruego acceder a mi solicitud por ser justa y legal.

Lima, 15 de Mayo del 2016

.....
Chuco Espinoza, Sheyla Lucila
DNI N°

ANEXO 7

REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y SEGURIDAD EN MEDICINA NUCLEAR

IR.002.2012

OFICINA TÉCNICA DE LA AUTORIDAD NACIONAL	REQUISITOS DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD EN MEDICINA NUCLEAR	IR.002.2012 Página: 4/28
---	---	-----------------------------

participando de la instrucción y capacitación que les habilite a realizar su trabajo de acuerdo con la regulaciones, y reportar prontamente al Titular sobre cualquier circunstancia que pueda afectar adversamente la protección radiológica y seguridad.

425.El Titular de la Licencia debe asegurar que se desarrollen las funciones indicadas en el Anexo III de la presente norma, en las actividades de medicina nuclear.

426.La instalación debe contar con un médico nuclear y un operador de manera permanente durante los procedimientos.

427.Las funciones de oficial de protección radiológica, pueden ser desarrolladas por el médico nuclear, operador o físico médico, con la correspondiente licencia individual.

428.Las funciones de físico médico pueden realizarse mediante personal con dedicación a tiempo parcial y que cuente con la correspondiente licencia individual.



429.El personal que desarrolla labores de mantenimiento, limpieza y otras, que deba ingresar esporádicamente a áreas controladas, debe ser instruido en protección radiológica mediante cartillas específicas antes de su ingreso y ser provisto de medios de protección que sean necesarios.

430.El personal indicado en el párrafo 408 debe ser instruido de manera periódica en los procedimientos de protección radiológica y seguridad de la instalación, así como conocer las condiciones y límites de la licencia.

431.La contratación de servicios que se requieran para la calibración del equipamiento, control de calidad, mantenimiento de equipos y servicios de protección radiológica en medicina nuclear deben ser efectuados por prestadores de servicios autorizados por la OTAN.

432.La adquisición del material radiactivo debe ser efectuada a comercializadores autorizados o importarse directamente cumpliendo las regulaciones aplicables.

4.3.2. Gestión de calidad

433.La instalación debe contar con un programa de garantía de calidad que cubra todo el proceso de medicina nuclear y los aspectos de protección radiológica y seguridad.

5. REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD

5.1. Diseño

5.1.1. Requisitos de equipamiento

501.Las cámaras gamma, medidor de actividad y cualquier otro equipamiento a usarse en medicina nuclear deben estar diseñados de conformidad con las normas internacionales aplicables.

502.El equipamiento de medicina nuclear debe ser acorde con el tipo de procedimientos a realizar.

503.El medidor de actividad debe poseer respuesta adecuada para los radioisótopos y actividades empleadas.

504.El detector de radiaciones (monitor) debe medir tasa de dosis y contaminación, y tener respuesta adecuada para los radioisótopos y actividades empleadas.

505.Las instalaciones de radioinmunoanálisis deben contar con un contador de pozo.

5.1.2. Requisitos para las instalaciones

5.1.2.1. Instalaciones de diagnóstico in vivo y para tratamiento

506.La instalación de medicina nuclear debe estar en un área de uso exclusivo para manejo de fuentes no selladas, que no esté próximo a materiales combustibles e inflamables, que permita el traslado sin problemas del material radiactivo, y que prevenga la dispersión de la contaminación radiactiva fuera de la misma.

507.La instalación de medicina nuclear para procedimientos de diagnóstico in vivo debe contar como mínimo con:

- un ambiente exclusivo para almacenar, manipular, fraccionar y preparar los radiofármacos ("cuarto caliente"), que tenga un área mínima de 3 m². Este ambiente debe contar con lavadero con agua corriente, un

OFICINA TÉCNICA DE LA AUTORIDAD NACIONAL	REQUISITOS DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD EN MEDICINA NUCLEAR	IR.002.2012 Página: 5/28
---	---	-----------------------------

castillo de plomo para almacenar los radioisótopos cuyo blindaje se calcule para la máxima actividad a contener en un momento dado.

En caso de manipular sustancias volátiles o aerosoles en cantidades mayores a 370 MBq debe contarse con una campana con sistema de extracción de gases con filtro de carbón activado;

- b) un ambiente para la administración del material radiactivo al paciente;
- c) un ambiente para cada equipo de medición de pacientes, cuyas dimensiones permitan al operador mantenerse al menos a 2 m del paciente y tenga un bajo nivel de radiación de fondo para evitar influencia en sus lecturas. En el caso de equipos PET y de los que funcionan en conjunto con un tomógrafo (híbridos) el ambiente debe diseñarse considerando que el operador estará ubicado fuera del mismo;
- d) una sala de espera y baño exclusivos para pacientes administrados con material radiactivo;
- e) áreas libres para la recepción y atención de pacientes no incorporados y acompañantes.

508. Los blindajes de los ambientes indicados en el párrafo 507 deben diseñarse tomando como base 0,1 mGy por semana para áreas controladas y 0,02 mGy por semana para áreas no controladas.

509. En el caso de PET/CT o SPECT/CT debe considerarse que las barreras blindadas no deben ser menores a 2 m de altura, las ventanas y puertas deben tener la misma equivalencia en blindaje de la barrera correspondiente y considerar adecuadamente las penetraciones y juntas.

510. Los pisos y mesas de trabajo de los ambientes donde use el material radiactivo deben estar revestidos con material impermeable, lavable, químicamente resistente, curvado en la esquina con la pared, las juntas selladas y pegado al suelo.

511. Las paredes, puertas y techos de los ambientes deben tener superficies lisas y lavables, con juntas selladas.

512. El ambiente de almacenamiento de material radiactivo debe tener una puerta con cerradura.

513. En el ambiente de almacenamiento de

material radiactivo debe definirse un área específica para colocar los desechos radiactivos, dentro de un contenedor exclusivo y blindado, cuya capacidad esté de acuerdo con el volumen producido. En caso que dicho volumen exceda esta capacidad, los desechos deben almacenarse en un ambiente separado, debidamente blindado y que posea puerta con llave.

514. La instalación de medicina nuclear debe contar con ventilación que proporcione una renovación continua del aire y disminuya la concentración de radiactividad. De haber sistema de climatización, este debe ser exclusivo para la instalación de medicina nuclear. En caso que el material radiactivo requiera de presión positiva, por razones de asepsia, se deberá colocar otro sistema de presión negativa próxima a dicha área.

515. La instalación debe disponer de salas exclusivas, en cantidad apropiada, para el internamiento de pacientes tratados con actividades mayores a 1100 MBq de ¹³¹I, que tengan baño exclusivo y con un blindaje adecuado para protección de otros pacientes o personas. El cuarto de internamiento debe contar con control de acceso y superficies impermeables.

516. Las tuberías de drenaje de los líquidos activos producidos en la instalación deberán conectarse directamente al desagüe principal de la misma o evitar que se conecten con otras tuberías de la instalación y, de ser posible, estar marcados para fines de monitoreo en su mantenimiento.

5.1.2.2. Instalaciones de diagnóstico in vitro

517. La instalación que realice trabajo de diagnóstico *in vitro* debe contar con un ambiente donde se almacene y manipule el material radiactivo, el mismo que debe contar con lavadero y un área para desechos radiactivos.

5.1.3. Equipo, herramientas y material de protección

518. La instalación debe contar la cantidad adecuada de equipos, herramientas y material de protección, para maximizar la distancia de trabajo, blinden las fuentes radiactivas que se manipulan, contengan las fuentes radiactivas abiertas y trasladen de manera segura el material radiactivo

OFICINA TÉCNICA DE LA AUTORIDAD NACIONAL	REQUISITOS DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD EN MEDICINA NUCLEAR	IR.002.2012 Página: 7/28
---	---	---

6.2. Clasificación de áreas de trabajo

603. Las áreas controladas en las instalaciones de medicina nuclear serán el ambiente de almacenamiento, manipulación, fraccionamiento y preparación del material radiactivo, el ambiente de administración del material, sala de internamiento de pacientes bajo tratamiento y otras donde la magnitud de la exposición lo justifique.

604. Las áreas supervisadas serán la sala de medición y la sala de espera de pacientes administrados.

605. Las áreas de trabajo deben estar delimitadas físicamente y bajo control administrativo, así como señalizadas reglamentariamente.

6.3. Procedimientos y supervisión

606. La instalación debe contar con procedimientos para asegurar un nivel adecuado de protección radiológica y seguridad, de acuerdo con las disposiciones de la presente norma y regulaciones aplicables.

607. Las labores que impliquen exposición ocupacional deben ser supervisadas y asegurar que se cumplan los procedimientos y medidas de protección radiológica y seguridad en la instalación.

608. El trabajo debe ser planificado y realizado de manera que se minimice la exposición y la dispersión de la contaminación en aire y en superficies.

609. El trabajo con material radiactivo debe estar restringido a las áreas controladas.

6.4. Vigilancia radiológica individual

610. Los trabajadores expuestos no deberán recibir dosis mayores al límite reglamentario y, además, sus exposiciones deben ser sometidas a optimización.

611. Los trabajadores expuestos que realicen tareas rutinarias en áreas controladas deben estar provistos de dosimetría personal de radiación externa proveniente de un servicio autorizado por la OTAN.

612. La contaminación interna de los trabajadores expuestos debe ser evaluada cuando se manipule ¹³¹I, en función de la carga de trabajo o cuando exista una sospecha de incorporación incidental.

613. Los trabajadores expuestos que, por la preparación y administración de material radiactivo, puedan recibir dosis equivalentes mayores a 150 mSv por año en manos, deben usar además dosimetría de manos.

614. Los dosímetros de radiación externa deberán ser usados y almacenados correctamente en la instalación.

615. Los trabajadores expuestos que usen dosimetría deben conocer su dosis mensual de manera oportuna, debiendo ser registradas.

616. En el caso de extravío de un dosímetro personal, se deberá evaluar la dosis que pudo haber recibido el trabajador durante ese período, registrarlo y reportar el valor a la OTAN.

617. Los trabajadores deben informar al Titular de la Licencia sus dosis que recibe por prestar servicios en otra instalación radiactiva, a fin de añadirla a la recibida en la instalación de medicina nuclear. La suma de las dosis no debe exceder los límites reglamentarios.

6.5. Vigilancia radiológica operativa

618. Se debe realizar el monitoreo rutinario de la radiación externa y la contaminación de las áreas de trabajo, de acuerdo con un programa establecido, debiendo registrar los resultados.

619. El monitoreo debe considerar aquellas áreas y tareas donde es necesario determinar los niveles de radiación, así como la contaminación superficial de personas, objetos y superficies.

620. El monitoreo debe efectuarse mediante un detector de radiaciones portátil (monitor) cuyo rango de medición se encuentre, al menos, entre 0 a 10 mSv/h y un detector portátil de contaminación radiactiva acorde con los radioisótopos utilizados.

621. El monitor de radiación debe encontrarse operativo y ser calibrado una vez al año y luego de un mantenimiento, a través de un Laboratorio Secundario autorizado o reconocido por la OTAN.



REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN DIAGNÓSTICO MÉDICO CON RAYOS X

IR.003.2013

OFICINA TÉCNICA DE LA AUTORIDAD NACIONAL	REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN DIAGNÓSTICO MÉDICO CON RAYOS X	IR.003.2013 Página: 4/19
---	---	-----------------------------

mamografía y radiología intervencionista deben contar con oficial de protección radiológica y físico médico con licencia individual.

414.El oficial de protección radiológica tiene la función de supervisar el cumplimiento de las normas de protección radiológica y aplicar el programa de protección radiológica de la instalación.

415.El físico médico tiene la función de efectuar la optimización de las exposiciones médicas y supervisar o realizar las pruebas de control de calidad en la instalación.

416.Las funciones de protección radiológica y física médica deben ser realizadas por personal autorizado por la OTAN, de la instalación o externa a ella.

4.3. Programa de Protección Radiológica

417.Las actividades de diagnóstico médico con rayos X deben llevarse a cabo bajo un Programa de Protección Radiológica que contenga los elementos especificados en el Anexo IV.

5. REQUISITOS DE SEGURIDAD

5.1.Equipos de rayos X

5.1.1.Características generales

501.Los equipos de rayos X deben cumplir con las normas aplicables de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), Organización Internacional de Normalización (ISO) o normas equivalentes, así como con los siguientes requerimientos:

- poseer marcas o placas que permitan su identificación clara y legible (marca, modelo o tipo, número de serie);
- contar con un sistema de colimación para delimitar el campo de radiación a la región de interés;
- la filtración total no debe ser menor de 2,5 mm de Al, de los cuales, 1,5 mm de Al deben ser permanentes, excepto para los mamógrafos;
- contar con un soporte ajustable del cabezal, de manera que el tubo permanezca estable

durante una exposición, excepto los densitómetros óseos y tomógrafos computarizados;

- la radiación de fuga del cabezal no debe ser mayor que 1 mGy/h a 1 m en condiciones de ensayo de fuga.

5.1.2. Características específicas

502.Los equipos móviles deben contar con un cable de disparo de una longitud mínima de 2 m.

503.Los equipos de fluoroscopia deben:

- poseer un sistema de intensificador de imagen o sistema digital;
- contar con cortinilla plomada o equivalente para la protección del operador contra la radiación dispersa, excepto para los equipos arco en C rodantes;
- disponer de señal sonora cuando exista y esté accionado el control de "alto nivel";
- contar con dispositivo para medir el tiempo acumulado de fluoroscopia y con alarma sonora
- contar con un sistema de medición de tasa de dosis al paciente o medición del producto dosis por área;
- tener botón o pedal disparador que permita interrumpir la exposición en cualquier momento;
- estar diseñados, equipados y configurados específicamente para ser empleados en procedimientos rutinarios pediátricos.

504.Los equipos de mamografía deben poseer:

- un dispositivo para mantener una comprensión apropiada de la mama;
- tubo específicamente diseñado para mamografía;
- punto focal no mayor a 0,3 mm para mamografía general;
- generador trifásico o de alta frecuencia;
- tensión de operación entre 25 y 35 kVp;
- distancia foco-película no menor a 60 cm;
- filtración total permanente no mayor a 0,03 mm de Mo o su equivalente;
- rejilla antidifusora.

505.Los equipos de tomografía computarizada (TC) deben poseer:



INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR

OFICINA TÉCNICA DE LA AUTORIDAD NACIONAL	REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN DIAGNÓSTICO MÉDICO CON RAYOS X	IR.003.2013 Página: 5/19
---	---	---

- a) medios que permitan la determinación visual del plano de referencia;
- b) dispositivos ubicados en la consola de control, mesa y gantry que permitan al operador interrumpir el procedimiento radiológico en cualquier instante;
- c) indicación visual en la consola de control del espesor del corte e incremento de barrido, antes del inicio de una serie;
- d) sistema para ajustar los números TC.

5.2. Instalación de rayos X

506. La instalación debe contar con una sala de rayos X, vestidor, así como ambientes para revelado, lectura e impresión de imágenes, espera de pacientes, según el procedimiento radiológico a realizar.

507. La sala de rayos X debe cumplir con lo siguiente:

- a) poseer barreras fijas blindadas cuyo espesor se fije en base a:
 - 0,1 mGy por semana en áreas controladas
 - 0,02 mGy por semana en otras áreas;
- b) en caso de contar con ventanas, deben estar a una altura suficiente que impida que la radiación dispersa en el exterior origine dosis mayores al límite para el público;
- c) contar con las señales de advertencia reglamentarias, ubicadas en las puertas de acceso a la sala de rayos X;
- d) en el caso de fluoroscopia y TC, contar con señal luminosa que se encienda durante el procedimiento radiológico;
- e) la puerta de acceso a la sala de rayos X debe poseer una cerradura que impida accesos inadvertidos;
- f) en el caso de fluoroscopia, la puerta no debe contar con ningún dispositivo que detenga la emisión de rayos X ante apertura imprevista;
- g) el haz primario no debe dirigirse a la consola de control o puertas de acceso a la sala de rayos X.

508. La consola de control del equipo de rayos X debe ubicarse detrás de barreras fijas, mamparas móviles o biombos, las cuales deben tener las siguientes características:

- a) el espesor de blindaje no debe permitir que las dosis sean mayores que 0,1 mGy por semana;
- b) dimensiones adecuadas para proteger al operador contra la radiación dispersa;
- c) visor con espesor equivalente a la barrera y dimensiones mínimas de 30 cm por 30 cm, u otro sistema para observar al paciente durante la exposición a los rayos X;

509. La sala de control para TC debe cumplir con lo siguiente:

- a) ser separada de la sala de rayos X y contar con puerta blindada de acceso a la sala de rayos X;
- b) el espesor de blindaje no debe permitir que las dosis en la consola de control sea mayor que 0,02 mGy por semana;
- c) contar con un visor espesor equivalente a la barrera y que permita al operador observar al paciente, el gantry, la camilla y la puerta de acceso a la sala de rayos X;
- d) tener medios para comunicarse con el paciente desde la consola de control durante el examen radiográfico;
- e) tener un acceso independiente de la sala de rayos X.

510. Las salas de rayos X deben tener dimensiones apropiadas para realizar sin dificultad los procedimientos radiológicos, de acuerdo al tipo de equipo, y con mínima exposición por radiación dispersa a las personas que intervienen.

511. En el caso de los densitómetros óseos, las dimensiones de la sala deben ser suficientes para que el operador se ubique a 1 m del paciente.

512. El ambiente de revelado o registro de imágenes debe estar diseñado bajo condiciones adecuadas para una buena obtención y observación de la imagen.

5.3. Requisitos operacionales

513. La instalación debe contar con procedimientos de protección radiológica a disposición de todo el personal.

514. El operador debe mantenerse instruido en protección radiológica en relación a las técnicas radiológicas y a los equipos a utilizar. En



INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR

OFICINA TÉCNICA DE LA AUTORIDAD NACIONAL	REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN DIAGNÓSTICO MÉDICO CON RAYOS X	IR.003.2013 Página: 6/19
---	---	---

radiografía digital, el operador debe ser entrenado en el uso de este tipo de equipos antes de efectuar procedimientos radiológicos para evitar exposiciones indebidas al paciente.

515.El operador debe usar los dispositivos de protección radiológica personal adecuados de acuerdo a la técnica radiológica a aplicar.

516.El uso de equipos móviles debe restringirse a casos en los que el paciente no pueda ser desplazado a una sala de rayos X.

517.En radiología intervencionista, el operador y las personas presentes en el procedimiento radiológico deben usar medios de protección individual, en especial para el cristalino.

518.Durante la realización de procedimientos radiológicos, solamente deben permanecer en la sala de rayos X el paciente, el operador, y si fuera necesario, otras personas autorizadas o acompañantes provistos de medios de protección.

519.Durante la exposición del paciente, el operador debe protegerse detrás de la barrera blindada de la consola de control y observar al paciente.

520.Durante las exposiciones, las puertas de acceso a la sala de rayos X deben permanecer cerradas.

521.En caso de procedimientos radiológicos en salas de hospitalización, donde haya otros pacientes que no puedan ser retirados de la sala, se deben emplear medios y medidas de protección que restrinjan su exposición.

522.No se deben realizar procedimientos radiológicos a distancias foco-piel menores a 45 cm en radiografía o menores a 30 cm en fluoroscopia.

523.Durante la operación de equipos móviles, los operadores deben utilizar medios de protección adecuados y las personas que no son pacientes deben estar situadas a no menos de 2 m del equipo.

524.Los equipos de rayos X deben ser posicionados de la manera más favorable para

reducir la dosis al personal que participa en el procedimiento radiológico.

5.4.Mantenimiento de equipos

525.El Titular de la Autorización debe asegurar que los equipos de rayos X tengan un adecuado mantenimiento y que sea realizado por persona natural o jurídica que cuente con la autorización de la OTAN.

6. EXPOSICION OCUPACIONAL

6.1.Trabajadoras embarazadas

601.En caso que una trabajadora expuesta sospeche o se encuentre embarazada debe comunicarlo al Titular de la Autorización, quien debe adaptar las condiciones de trabajo respecto a la exposición ocupacional para asegurar que se proporcione al embrión o feto el mismo nivel de protección que para miembros del público.

6.2.Clasificación de áreas de trabajo

602.Las salas de rayos X y las áreas donde se utilicen equipos de rayos X móviles deben ser consideradas como áreas controladas. Las otras áreas deben ser consideradas como públicas.

6.3.Vigilancia radiológica de áreas

603.En caso de daño o modificaciones en las barreras de protección de la sala de rayos X que podrían afectar su efectividad, este debe ser evaluado a fin de asegurar que se mantengan las condiciones de protección.

604.En el caso de radiología intervencionista se debe llevar a cabo un monitoreo de la radiación en la sala de rayos X, durante el procedimiento radiológico, a intervalos no mayores a 1 año, debiendo registrarse los resultados.

6.4.Vigilancia radiológica individual

605.Los trabajadores expuestos no deben recibir dosis mayores a los límites reglamentarios y sus exposiciones deben ser sometidas a optimización.



INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR

OFICINA TÉCNICA DE LA AUTORIDAD NACIONAL	REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN DIAGNÓSTICO MÉDICO CON RAYOS X	IR.003.2013 Página: 7/19
---	---	---

606. Los trabajadores expuestos así como el personal en entrenamiento que participan en los procedimientos radiológicos deben utilizar dosímetros personales proporcionados por un servicio autorizado por la OTAN.

607. Los operadores de tomografía computarizada y de densitometría ósea no requieren tener dosimetría personal de radiación externa en forma obligatoria.

608. Los trabajadores expuestos deben ser informados oportunamente sobre las dosis recibidas.

609. Los trabajadores expuestos deben usar correctamente el dosímetro personal durante la jornada de trabajo, siguiendo las indicaciones de buen uso suministradas por el Titular de la Autorización.

610. Los trabajadores expuestos que usen mandil plomado deben colocar el dosímetro personal debajo de éste.

611. En el caso de radiología intervencionista, los trabajadores expuestos deben usar dos dosímetros: uno debajo del mandil y otro encima del mismo.

612. El trabajador expuesto debe usar el dosímetro personal que le fue asignado solamente en la instalación que le proporciona dicho dispositivo.

613. En caso de pérdida o mal uso del dosímetro personal, el Titular de la Autorización debe informar a la OTAN sobre la estimación de la dosis recibida por el trabajador expuesto.

614. El Titular de la Autorización debe mantener un registro de las dosis de trabajadores expuestos, durante 10 años luego que el trabajador deje de laborar en la instalación o deje de trabajar con radiaciones.

6.5. Investigación y seguimiento

615. El Titular de la Autorización debe investigar las causas, implementar las medidas correctivas y registrar el hecho, si las dosis de los trabajadores expuestos superan:

- a) 5 mSv de dosis efectiva en un mes,
- b) 0,5 mSv de dosis efectiva en un mes si el dosímetro es usado debajo del mandil,
- c) 25% del límite de dosis equivalente en un mes.

616. El Titular de la Autorización debe investigar las causas, implementar las medidas correctivas, registrar el hecho y remitir, en un plazo de 10 días, un informe a la OTAN si las dosis de los trabajadores expuestos superan:

- a) 20 mSv de dosis efectiva,
- b) cualquier límite de dosis equivalente.

617. Los registros de investigación de dosis anormales de trabajadores deben mantenerse durante 30 años.

7. EXPOSICION MEDICA

7.1. Justificación

701. El Titular de la Autorización debe asegurar que todo procedimiento radiológico sea prescrito por un médico colegiado.

702. Las empresas o entidades que lleven a cabo exámenes masivos de personas con objeto de despistaje o como parte de programas de salud, deben realizarlos solamente cuando se cuente con la correspondiente prescripción escrita de un médico colegiado y demuestren que las exposiciones ocasionan un beneficio al grupo expuesto.

7.2. Optimización

703. Las dosis en pacientes deben optimizarse utilizando correctamente equipos acordes al tipo de procedimiento radiológico y aplicando técnicas apropiadas de reducción de dosis.

704. La sala de rayos X debe contar con avisos visibles que adviertan del riesgo a mujeres embarazadas o probablemente embarazadas, siendo necesario además que el operador pregunte a la paciente sobre esta condición a fin de prevenir su exposición inadvertida.

705. En caso de ser necesaria la exposición de mujeres embarazadas, se debe planificar el



INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR

REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN DIAGNÓSTICO MÉDICO CON RAYOS X – FUNCIÓN DEL OFICIAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN DIAGNÓSTICO MÉDICO CON RAYOS X

IR.003.2013

OFICINA TÉCNICA DE LA AUTORIDAD NACIONAL	REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN DIAGNÓSTICO MÉDICO CON RAYOS X	IR.003.2013 Página: 4/19
---	---	-----------------------------

mamografía y radiología intervencionista deben contar con oficial de protección radiológica y físico médico con licencia individual.

414.El oficial de protección radiológica tiene la función de supervisar el cumplimiento de las normas de protección radiológica y aplicar el programa de protección radiológica de la instalación.

415.El físico médico tiene la función de efectuar la optimización de las exposiciones médicas y supervisar o realizar las pruebas de control de calidad en la instalación.

416.Las funciones de protección radiológica y física médica deben ser realizadas por personal autorizado por la OTAN, de la instalación o externa a ella.

4.3. Programa de Protección Radiológica

417.Las actividades de diagnóstico médico con rayos X deben llevarse a cabo bajo un Programa de Protección Radiológica que contenga los elementos especificados en el Anexo IV.

5. REQUISITOS DE SEGURIDAD

5.1.Equipos de rayos X

5.1.1.Características generales

501.Los equipos de rayos X deben cumplir con las normas aplicables de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), Organización Internacional de Normalización (ISO) o normas equivalentes, así como con los siguientes requerimientos:

- poseer marcas o placas que permitan su identificación clara y legible (marca, modelo o tipo, número de serie);
- contar con un sistema de colimación para delimitar el campo de radiación a la región de interés;
- la filtración total no debe ser menor de 2,5 mm de Al, de los cuales, 1,5 mm de Al deben ser permanentes, excepto para los mamógrafos;
- contar con un soporte ajustable del cabezal, de manera que el tubo permanezca estable

durante una exposición, excepto los densitómetros óseos y tomógrafos computarizados;

- la radiación de fuga del cabezal no debe ser mayor que 1 mGy/h a 1 m en condiciones de ensayo de fuga.

5.1.2. Características específicas

502.Los equipos móviles deben contar con un cable de disparo de una longitud mínima de 2 m.

503.Los equipos de fluoroscopia deben:

- poseer un sistema de intensificador de imagen o sistema digital;
- contar con cortinilla plomada o equivalente para la protección del operador contra la radiación dispersa, excepto para los equipos arco en C rodantes;
- disponer de señal sonora cuando exista y esté accionado el control de "alto nivel";
- contar con dispositivo para medir el tiempo acumulado de fluoroscopia y con alarma sonora
- contar con un sistema de medición de tasa de dosis al paciente o medición del producto dosis por área;
- tener botón o pedal disparador que permita interrumpir la exposición en cualquier momento;
- estar diseñados, equipados y configurados específicamente para ser empleados en procedimientos rutinarios pediátricos.

504.Los equipos de mamografía deben poseer:

- un dispositivo para mantener una comprensión apropiada de la mama;
- tubo específicamente diseñado para mamografía;
- punto focal no mayor a 0,3 mm para mamografía general;
- generador trifásico o de alta frecuencia;
- tensión de operación entre 25 y 35 kVp;
- distancia foco-película no menor a 60 cm;
- filtración total permanente no mayor a 0,03 mm de Mo o su equivalente;
- rejilla antidisfusa.

505.Los equipos de tomografía computarizada (TC) deben poseer:



INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR

REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y SEGURIDAD EN MEDICINA NUCLEAR –FUNCIÓN DEL OFICIAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

IR.002.2012

OFICINA TÉCNICA DE LA AUTORIDAD NACIONAL	REQUISITOS DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD EN MEDICINA NUCLEAR	IR.002.2012 Página: 3/28
---	---	-----------------------------

407.Cualquier otra modificación será objeto de una nueva licencia.

4.1.3.Licencias individuales

408.El personal que realice actividades en medicina nuclear requiere las siguientes licencias:

- a) licencia de operador;
- b) licencia de oficial de protección radiológica;
- c) licencia de físico médico en medicina nuclear.

409.El personal que realice actividades de radioinmunoanálisis *in vitro*, no requiere contar con licencia individual; no obstante debe estar capacitado en protección radiológica.

410.El personal que realice calibración, control de calidad y mantenimiento en medicina nuclear deben contar con la licencia individual correspondiente.

411.Las licencias individuales deben solicitarse y revalidarse cumpliendo los requisitos indicados en el Anexo II.

412.El personal de medicina nuclear debe estar calificado y entrenado conforme lo establecido en los Anexos III y IV.

4.2. Requerimientos de protección radiológica

413.La protección radiológica en medicina nuclear debe cumplir con los principios de justificación, optimización y limitación de dosis.

414.Previamente a la aprobación de un procedimiento de medicina nuclear, este deberá justificarse para el paciente en particular.

415.El equipamiento y método utilizados deben asegurar que el material radiactivo administrado al paciente sea suficiente para obtener la información requerida o, en caso de tratamiento, sea consistente con el propósito de la exposición.

416.La cantidad de material radiactivo administrada a una paciente embarazada debe ser minimizada acorde con los parámetros del procedimiento de medicina nuclear..

417.Las actividades de medicina nuclear se deben manejar de forma que las dosis a los trabajadores expuestos y al público no excedan

los límites establecidos en la reglamentación aplicable.

418. La instalación debe contar con un programa de protección radiológica aplicable a las actividades de medicina nuclear.

4.3. Requerimientos de gestión

4.3.1.Responsabilidades

419.El Titular de la Licencia es responsable principal de la seguridad de la instalación y del cumplimiento de los requisitos para la protección del trabajador expuesto, del público y del paciente conforme a lo establecido en la presente norma y regulación aplicable.

420.El médico nuclear es responsable de aprobar y prescribir la dosis a administrar al paciente, así como de supervisar todo el procedimiento de medicina nuclear y asegurar la completa protección del paciente.

421.Los operadores son responsables de administrar el material radiactivo en los pacientes, de acuerdo con los procedimientos escritos relativos a la identificación del paciente y a la correcta ejecución de la administración, así como de la correcta obtención de datos e imágenes.

422.El oficial de protección radiológica es responsable de supervisar el cumplimiento de las normas, aplicar el programa de protección radiológica (Anexo VII), y el plan de emergencia así como informar al Titular sobre el estado de la seguridad en la instalación.

423.El físico médico es responsable del programa de garantía de calidad y de aplicar la optimización de dosis en pacientes.

424.Los trabajadores expuestos de la instalación de medicina nuclear deben cumplir con sus obligaciones y funciones establecidas respecto a la protección radiológica y seguridad, mediante el seguimiento de las reglas y procedimientos especificados por el Titular de la Licencia, haciendo uso apropiado de los equipos y medios de protección, proporcionando información relevante al Titular sobre su trabajo anterior y actual, evitando realizar cualquier acción que pueda conducirles a si mismos y a otros a situaciones que contravengan las regulaciones,

OFICINA TÉCNICA DE LA AUTORIDAD NACIONAL	REQUISITOS DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD EN MEDICINA NUCLEAR	IR.002.2012 Página: 16/28
---	---	------------------------------

ANEXO III

FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DEL PERSONAL

1. Médico nuclear

- a) Formación básica: Médico
- b) Formación especializada: Registro de especialista en medicina nuclear del Colegio Médico del Perú.

Las funciones y responsabilidades del médico nuclear como mínimo son:

- a) Asegurar la completa protección radiológica del paciente;
- b) Asegurarse que la exposición de pacientes sea la mínima necesaria para alcanzar el objetivo propuesto teniendo en cuenta los niveles orientativos/guía para la exposición médica;
- c) Establecer protocolos optimizados para los procedimientos de diagnóstico y tratamiento, asesorado por el físico médico;
- d) Informar al paciente sobre las medidas de protección que debe tomar luego del procedimiento;
- e) Proporcionar los criterios para manejar el examen de mujeres embarazadas, pacientes pediátricos, procedimientos de medicina legal, exámenes de salud ocupacional e investigaciones médicas y biomédicas.
- f) Asegurar que las madres lactantes reciban la correspondiente información acerca de su interrupción;
- g) Prescribir la actividad a administrar a los pacientes;
- h) Evaluar cualquier accidente o incidente radiológico desde el punto de vista médico.



2. Físico médico en medicina nuclear

- a) Formación básica: Profesional.
- b) Formación especializada: Egresado de Maestría o Doctorado en Física Médica.
- c) Experiencia práctica, como mínimo, de 1 año en tareas de física médica en medicina nuclear.

Las funciones y responsabilidades del físico médico como mínimo son:

- a) Elaborar y ejecutar los aspectos físicos del Programa de Garantía de Calidad;
- b) Participar en la revisión de procedimientos de diagnóstico y tratamiento de medicina nuclear;
- c) Realizar los cálculos de dosis en pacientes;
- d) Supervisar el mantenimiento de los equipos;
- e) Llevar los registros de los equipos y dosis a los pacientes;
- f) Participar en la preparación de especificaciones técnicas y en pruebas de aceptación de equipos;

3. Oficial de protección radiológica

- a) Formación básica: Profesional de la salud, ciencias o ingeniería.
- b) Formación especializada: Haber asistido a un curso de protección radiológica en medicina nuclear, no menor a 80 horas lectivas,
- c) Experiencia práctica, como mínimo, de 1 año en tareas de protección radiológica.

Las funciones y responsabilidades del oficial de protección radiológica como mínimo son:

- a) Supervisar el cumplimiento de los límites y condiciones de la licencia de operación, el programa de protección radiológica y las normas aplicables.
- b) Informar cualquier hecho que pueda implicar un aumento del riesgo radiológico para el trabajador expuesto o para el público, investigar sus causas y consecuencias e implementar las medidas correctivas que correspondan;

OFICINA TÉCNICA DE LA AUTORIDAD NACIONAL	REQUISITOS DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD EN MEDICINA NUCLEAR	IR.002.2012 Página: 17/28
---	---	--

- c) Supervisar que los procedimientos de emergencia y material necesario para la actuación estén disponibles.
- d) Asesorar en la toma de decisiones relativas a la protección radiológica y seguridad de la instalación
- e) Implementar y llevar a cabo la vigilancia radiológica de la instalación y del trabajador expuesto.
- f) Identificar las áreas controladas y supervisadas, estableciendo el control de acceso a las áreas controladas;
- g) Asegurar que los instrumentos de vigilancia radiológica están disponibles y que están calibrados y mantenidos de la forma adecuada;
- h) Instruir al personal de la instalación sobre procedimientos de protección radiológica.
- i) Supervisar y realizar la gestión de desechos radiactivos de acuerdo a las condiciones establecidas por la OTAN;
- j) Estar presente durante las inspecciones de la OTAN;
- k) Elaborar, supervisar y participar en los programas de entrenamiento y reentrenamiento de los trabajadores expuestos
- l) Ejercitar el Plan de Emergencias y conducir la investigación e implementación de acciones correctivas, resultantes de exposiciones accidentales, médicas u ocupacionales;
- m) Elaborar y mantener actualizada la documentación, procedimientos y registros requeridos por la OTAN.

4. Operador en medicina nuclear

- a) Formación básica: Médico o Tecnólogo Médico en radiología
- b) Formación especializada: Haber asistido a un curso de capacitación en protección radiológica en medicina nuclear de, al menos, 20 horas lectivas.
- c) Experiencia práctica en labores de medicina nuclear, como mínimo, de 6 meses.

Las funciones y responsabilidades del operador en medicina nuclear como mínimo son:

- a) Asegurarse de la correcta identificación de los pacientes;
- b) Proporcionar información a los acompañantes y al personal de enfermería que tengan contacto con un paciente después de un examen o terapia con material radiactivo;
- c) Asegurarse que la paciente no esté embarazada;
- d) Preparar y verificar el radiofármaco a administrar y su actividad;
- e) Realizar los controles de calidad diarios establecidos en la norma;
- f) Informar al médico nuclear y al oficial de protección radiológica (OPR) en caso de accidente o incidente.
- g) Ejecutar los procedimientos de diagnóstico y el tratamiento según lo prescrito, registrando su firma;
- h) Cumplir los procedimientos de operación, protección radiológica y seguridad de la instalación;
- i) Llevar el registro del consumo de fuentes radiactivas;
- j) Mantener una supervisión directa sobre asistentes que estén trabajando a su cargo;

5. Personal de mantenimiento

- a) Formación básica: Cómo mínimo carrera técnica de no menos de 3 años.
- b) Formación especializada: Haber asistido a un curso de capacitación en protección radiológica, no menor a 20 horas lectivas.
- c) Experiencia práctica, como mínimo, de 6 meses de trabajo en mantenimiento de equipos.

Las funciones y responsabilidades del personal de mantenimiento como mínimo son:

- a) Informar por escrito sobre las acciones de mantenimiento realizadas a los equipos y sus resultados;
- b) Registrar las acciones de mantenimiento preventivo y correctivo que se realicen al equipo.

ANEXO 8

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1. DATOS PERSONALES

- Nombre:
- Sexo: a) Femenino b) Masculino

2. ÁREA DE TRABAJO DEL TECNÓLOGO MÉDICO

- Radiodiagnóstico ()
- Medicina Nuclear ()
- Tomografía Computarizada ()

3. REPORTES DOSIMÉTRICOS

MES:

DOSIS EQUIVALENTE SEGÚN ÓRGANO POR MES:

- Cristalino:
- Piel y Extremidades:

DOSIS EFECTIVA MENSUAL:

DOSIS EQUIVALENTE SEGÚN ÓRGANO ANUAL:

- Cristalino:
- Piel y Extremidades:

DOSIS EFECTIVA ANUAL:

4. LÍMITES DOSIMÉTRICOS

- Normal ()
- Por encima del límite normal ()